



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ VÝMĚNÍKU NÁSTROJŮ CNC
STROJE**

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ VÝMĚNÍKU NÁSTROJŮ CNC STROJE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Rajdl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Filip Rajdl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Virtuální zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současná doba klade stále větší důraz na rychlé zprovoznění nových výrobních systémů. Jednou z cest jak tohoto cíle dosáhnout je využití tzv. virtuálního zprovoznění nově navrhovaného výrobního systému. Cílem práce bude virtuální zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje s využitím sw nástrojů NX mechatronics concept designer. Práce je založena na syntéze znalostí z mechaniky, elektřiny, automatizace a programování.

Cíle diplomové práce:

Rešerše dané problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Digitální zprovoznění.
Vyhodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří a kolektiv. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. 1. Praha: MM Publishing, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o virtuálním zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje. Nejprve se zabývá současným stavem poznání se systematickým rozbořem virtuálního zprovoznění. 3D model je vytvořen fyzikálními vlastnostmi, senzory, akčními členy a řídicími signály. V poslední části této práce je vytvořen PLC program a vizualizace. Programy potřebné k vytvoření virtuálního zprovoznění jsou NX 12.0 - Mechatronic concept designer, SIMIT Simulation Platform V10.0 a TwinCAT 3.

ABSTRACT

The Master's thesis deals with virtual commissioning of the CNC machine tool changer. First deals with current state of knowledge with a systematic analysis of virtual commissioning. The 3D model is created by physical properties, sensors, actuators and control signals. In the last part of this thesis, a PLC program and visualization is created. The programs needed to create a virtual commissioning are NX 12.0 - Mechatronic concept designer, SIMIT Simulation Platform V10.0 a TwinCAT 3.

KLÍČOVÁ SLOVA

Virtuální zprovoznění, Průmysl 4.0, digitální dvojče, automatická výměna nástrojů, OPC UA, Siemens, Beckhoff, NX MCD, SIMIT SP, TwinCAT 3

KEYWORDS

Virtual commissioning, Industry 4.0, digital twin, automatic tool change, OPC UA, Siemens, Beckhoff, NX MCD, SIMIT SP, TwinCAT 3

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAJDL, Filip. Virtuální zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125109>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce, dále slečně Elišce Brabcové za podporu a pomoc.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.6.2020

.....

Filip Rajdl

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ SE SYSTEMOVÝM ROZBOREM DANÉ PROBLEMATIKY.....	19
3.1	Průmysl 4.0	19
3.2	Digitální podnik	20
3.3	Digitální dvojče	20
3.4	Virtuální zprovoznění.....	22
3.4.1	Metody virtuálního zprovoznění	23
3.5	Vhodné nástroje pro virtuální zprovoznění	23
3.5.1	ABB	23
3.5.2	Beckhoff.....	24
3.5.3	EKS InTec GmbH	24
3.5.4	Siemens	24
3.6	Komunikační rozhraní.....	25
3.6.1	Spojení mezi NX MCD SIMIT SP	25
3.6.2	Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3	25
3.7	Automatická výměna nástrojů.....	26
3.7.1	Výměník.....	27
3.7.2	Nástrojové stopky	28
3.7.3	Systémy s nosným zásobníkem	29
3.7.4	Systémy se skladovacím zásobníkem	30
3.7.5	Systémy kombinované	30
4	DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ	31
4.1	3D Model zadaného výměníku nástrojů	31
4.2	Zavazbení 3D modelu	33
4.3	Fyzikální vlastnosti	34
4.3.1	Dynamické vlastnosti	34
4.3.2	Kinematické vazby	35
4.3.3	Kolizní tělesa	36
4.4	Senzory a akční členy.....	37
4.4.1	Senzory	37
4.4.2	Akční členy	37
4.5	Řídicí signály	39
4.6	Spojení mezi NX MCD a SIMIT SP.....	40
4.7	Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3	43
4.8	Spojení mezi NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3	46
4.9	Vytvoření a vizualizace PLC program	47
4.10	Vytvoření PLC programu.....	48
4.11	Vizualizace PLC programu	51
5	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	53
6	ZÁVĚR.....	55
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61

8.1	Seznam zkratk:	61
8.2	Seznam obrázků:	61
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

1 ÚVOD

Virtuální zprovoznění patří mezi nejpoužívanější spojení při hovoru o Průmyslu 4.0. Pod slovem Průmysl 4.0 se nejčastěji schovávají pojmy jako digitální dvojče, kyberneticko-fyzikální systémy, průmyslový internet věcí (IIoT), Big data, digitální podnik („chytré továrny“), atp. Všechny zmíněné pojmy naznačují nejen urychlení výroby, ale i její zefektivnění, dále propojení fyzického a digitálního světa tak, aby spolu dokázaly komunikovat.

V současnosti jsou kladené velké požadavky na výrobce výrobních systémů, a to zejména pro snížení finančních a časových nákladů. Mezi dalšími požadavky je flexibilita výrobních systémů a možnost dodatečné úpravy. Cesta, jak dosáhnout těchto požadavků, znamená využít virtuální zprovoznění.

Tato diplomová práce se zabývá současným stavem poznání se systematickým rozbohem virtuálního zprovoznění. Práce pojednává o virtuálním zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje. Bude vytvořen 3D model s fyzikálními vlastnostmi, senzory, akčními členy a řídicími signály. 3D model bude řízený vytvořeným PLC programem a následnou vizualizací.

Nejdříve bude popsán Průmysl 4.0 a výrazy s ním spojené. Dále bude popsán digitální podnik, digitální dvojče, virtuální zprovoznění a metody jeho zprovoznění. V další části budou vyličené programy, které budou použity v praktické části. V neposlední řadě se bude práce zabývat souvislostmi spojené s automatickou výměnou nástroje a možnosti skladování nástrojů.

Praktická část obsahuje zprovoznění 3D modelu tak, aby se dal ovládat a komunikoval s jinými programy. Bude vytvořen PLC program komunikující s 3D modelem a možností ho ovládat.

Pro celé virtuální zprovoznění je třeba použít více programů, které zajistí spolehlivou simulaci. Program pro tvorbu digitálního dvojčete je použit NX 12.0 - Mechatronic concept designer. Program SIMIT Simulation Platform V10.0 bude sloužit jako komunikační rozhraní mezi již zmíněným programem NX 12.0 - Mechatronic concept designer a programem, ve kterém bude vytvořen a vizualizován PLC program. Program pro vytvoření a vizualizování PLC programu bude použit TwinCAT 3.

2 MOTIVACE

Důvodem vytvoření této diplomové práce bylo poukázání na rozvoj virtuálního zprovoznění. V současnosti je velmi řešené téma Průmysl 4.0 a v návaznosti na to je diskutováno o budoucnosti průmyslu. Nejčastěji se hovoří právě o virtuálním zprovoznění, využití digitálního stínu, popřípadě digitálního dvojčete. Rovněž se řeší, jak to bude s daty, jestli se budou ukládat v blízkosti strojů anebo budou sdíleny prostřednictvím internetu. Kvůli tomu se firmy dostávají do situace, kdy musí váhat, jakou cestu si mají zvolit a jestli je správná.

Co se týče virtuálního zprovoznění, je velká snaha o začlenění do provozu. Mezi výhody virtuálního zprovoznění patří časové úspory, finanční úspory, odhalení chyb, testování stroje před uvedením do výrobního procesu, atp.

Tato práce poukazuje na způsob, jak by mohlo být řešeno virtuální zprovoznění. O možnostech současných programů, jako je NX Mechatronic concept designer, SIMIT Simulation Platform a TwinCAT 3. Dále funkčnost propojení mezi programy bez použití fyzického hardwaru a také možnost vytvoření PLC programu.

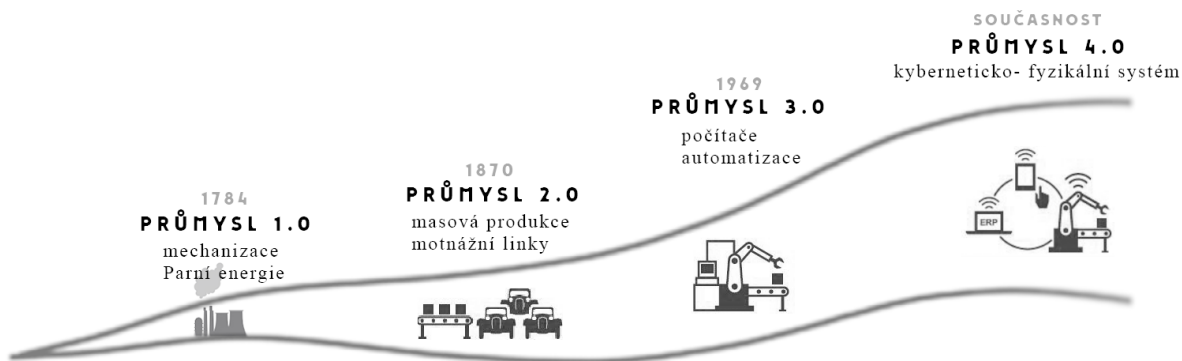
3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ SE SYSTEMOVÝM ROZBOREM DANÉ PROBLEMATIKY

3.1 Průmysl 4.0

Označení Průmysl 4.0 zahrnuje příslib nové průmyslové revoluce (Obrázek 3.1), kde hlavní myšlenka bývá v posledních letech různě zkreslována. Základní myšlenka je rozvíjení a používání kyberneticko-fyzikálních systémů (CPS) v průmyslových podnicích neboli dosažení úplné digitalizace průmyslových procesů pomocí bezproblémového spojení strojů a fyzických zařízení s IT infrastrukturou.

V této revoluci budou stroje a polotovary mezi sebou komunikovat, díky tomu dojde k optimalizaci výrobního procesu. Polotovary budou mít zabudovaný malý systém, něco jako miniaturní internetový server s bezdrátovým rozhraním, který slouží jako jeho digitální paměť. Tento vestavěný systém řekne, co se má z daného polotovaru vyrobit, a sám „požádá“ jednotlivé stroje, aby na něm provedly operace k dosažení požadovaného stavu. Zároveň stroje si budou současně hlídat, jestli jsou k dispozici pro dotazovaný polotovar. Jestliže nejsou k dispozici, pošlou polotovar jinam. Výroba se bude řídit sama.

Každý stroj, součást i vyráběný díl si budou hlídat svůj stav a on-line o něm informovat. Stejně tak si budou pamatovat svoji historii a předvídat možné poruchy a samy si plánovat servisní zásahy. [1] [2]



Obrázek 3.1: Průmyslová revoluce [3]

Výrazy spojené s Průmyslem 4.0:

- Horizontální integrace – zabezpečuje všechny články řetězce od dodavatelů přes výrobce až po distribuci koncovému zákazníkovi a následný servis; [4]
- Vertikální integrace – znalostně podporovaná integrace od úrovně řízení v reálném čase, přes plánování a rozvrhování výroby a ERP (Plánování podnikových zdrojů) systémy až k rozhodování na nejvyšší úrovni; [5]
- Průmyslový internet věcí (IIoT) – umožňuje interakci a výměnu dat s fyzickými zařízeními. Ve skutečnosti nejde o nic víc než o systémy, které komunikují přes

rozhraní jak s uživateli, tak s okolním fyzickým světem, ale současně i s kybernetickým prostorem a stává se nedílnou součástí Průmyslu 4.0. IIoT také poskytuje prostředky pro připojení starých zařízení s IT systémy. Celkově lze říci, že CPS a IIoT systémy budou jádrem Průmyslu 4.0 v EU nadcházející roky; [6]

- Cloud computing – technologie kombinující možnost rychlého zpracování dat a globálního ukládání velkého množství dat s přístupem k výsledkům analýzy prostřednictvím webového rozhraní. Cloud může být koncipován jako veřejný, soukromý nebo se může jednat o interní řešení příslušného výrobního závodu v podobě uzavřeného systému. [7]
- Edge computing – nebo také computing na okraji sítě. Trend, kdy jde o snahu o zpracování dat v blízkosti zdrojů kvůli rychlému vyhodnocení v reálném čase, například ze senzorů internetu věcí nebo senzorů ze strojů ve výrobě; [8]
- Big data – pojem pro enormní objemy dat, které je obtížné zpracovávat v rozumném čase tradičními databázovými nástroji neboli označuje nové technologie pro záznam, ukládání a analýzu dat; [9]

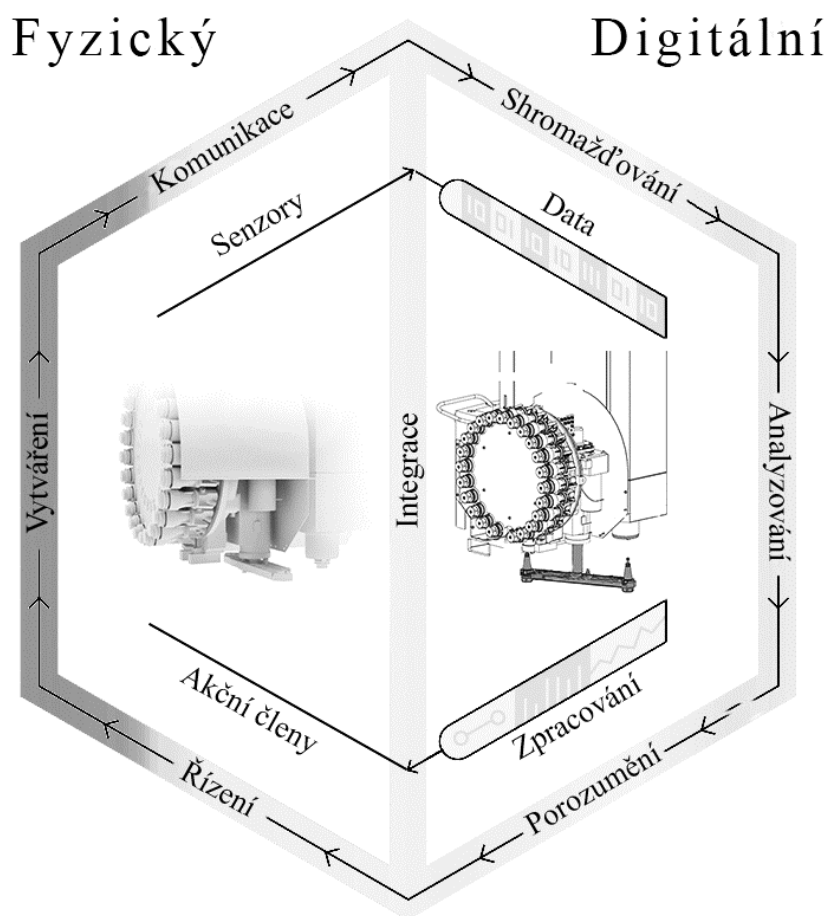
3.2 Digitální podnik

Současné technologie umožňují vytvoření digitálního obrazu reálného podniku, a to včetně zachycení výrobních technologií, výrobních procesů, polotovarů, výrobků, a dokonce i lidí. Tento model pak dává nové možnosti v oblasti plánování a optimalizace výroby a výrobních procesů. Zvýší se produktivita a efektivita výroby, rychlejší uvedení výrobku na trh a energetická účinnost provozu. Při zavedení digitalizace průmyslové výroby se dlouhodobě zajistí udržitelné konkurenční postavení. [10] [11]

3.3 Digitální dvojče

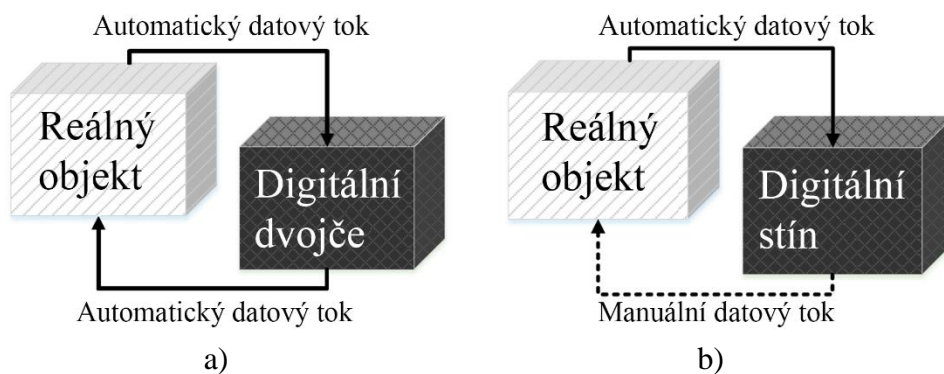
Podle skutečného objektu či systému je vytvořen digitální model neboli digitální dvojče. Vlastnosti modelu jsou přitom zcela totožné se skutečností, včetně kinematiky, PLC programu a komunikace s řídicím systémem. [12]

Digitální dvojče je konstruováno tak, aby dokázalo získávat vstupní data ze senzorů a dále zasílat data do svého dvojčete z reálného světa. To technologii umožňuje simulovat objekt v reálném čase a snáze identifikovat potenciální problémy a reagovat na ně. Dvojče však může být navrženo také na základě prototypu fyzického dílu, takže může sloužit jakožto zpětná vazba už při návrhu produktu. Dokonce může být samo prototypem ještě předtím, než je produkt vůbec vytvořen. Digitální dvojče zůstává po celý životní cyklus spojeno se svým fyzickým dvojčetem (Obrázek 3.2). [6]



Obrázek 3.2: Propojení digitálního dvojčete s fyzickým zařízením [13] [14]

Digitální stín je digitální model, tak jako digitální dvojče. Rozdíl je v datovém toku mezi reálným objektem a digitálním stínem. U digitálního dvojčete probíhá oboustranný automatický datový tok (Obrázek 3.3 a)), zatímco u digitálního stínu probíhá automatický datový tok pouze jednostranně, a to z reálného objektu do digitálního stínu (Obrázek 3.3 b)). Data z digitálního stínu do reálného objektu se musí vkládat manuálně. [15]



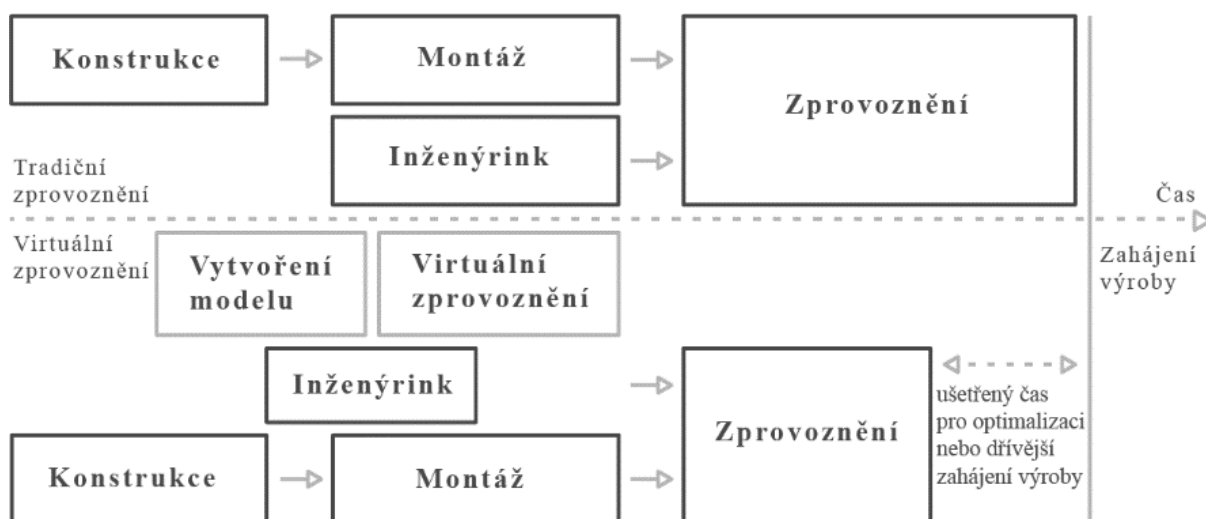
Obrázek 3.3: Datový tok mezi a) digitálním dvojčetem a reálným objektem, b) digitálním stínem a reálným objektem [15]

Jednotlivé kroky k vytvoření digitálního dvojčete: [6]

1. Vytváření – Sběr dat ze stroje/procesu (procesní data) a jeho okolí pomocí senzorů, které mohou být doplněny informacemi (CAD model obrobku atd.) Data slouží jako vstupní informace pro další analýzy.
2. Komunikace – Obousměrná integrace/propojení mezi fyzickým a virtuálním strojem v reálném čase. Vznik digitálního dvojčete je za pomoci síťové komunikace.
3. Shromažďování – Umožňuje ukládání a předzpracování dat pro další analýzy. Data mohou být na lokálním uložení nebo na cloudu.
4. Analyzování – Získaná a předzpracovaná data jsou analyzována. Výsledky jsou vizualizovány, slouží pro lepší pochopení aktuálního stavu stroje a také jako podklad pro další rozhodování.
5. Porozumění – Pomocí vizualizace výsledků analýz jsou prezentovány rozdíly mezi reálným a digitálním světem.
6. Řízení – Na základě předchozích kroků jsou provedeny zásahy do stroje (servisní zásah, nové korekční parametry atd.)

3.4 Virtuální zprovoznění

Je-li k řízení digitálního modelu (viz kapitola 3.3) využita reálná řídicí jednotka (např. PLC), která je následně použita k řízení vyvíjeného zařízení, mluví se o virtuálním zprovoznění, a tedy propojení 3D simulačního modelu se skutečnou řídicí jednotkou. Pomocí virtuálního zprovoznění dochází k výraznému zkrácení oživovací etapy a ladění na reálném zařízení (Obrázek 3.4). Virtuální model funguje jako společná platforma pro všechna oddělení vývoje. [16]



Obrázek 3.4: Úspora času při virtuálním zprovoznění [17]

Mezi základní přínosy virtuálního zprovoznění patří: [16]

- verifikace a odladění programů v řídicích jednotkách (např. PLC);
- značná úspora času na inženýring;
- ověření správného návrhu senzorů a jejich napojení na PLC;
- testování bezpečnostních prvků a blokad;

- testování variant řídicích programů a konstrukčních řešení;
- odladění chybových scénářů;
- snadná optimalizace návrhu bez potřeby testování na reálném zařízení;
- významné zkrácení doby ožívování a ladění zařízení;
- opravdový mechatronický přístup – propojení mechaniky, elektroniky a softwaru;

3.4.1 Metody virtuálního zprovoznění

V současnosti se používají dvě metody virtuálního zprovoznění, a to software in the loop (SIL) a hardware in the loop (HIL).

Metoda SIL nevyužívá žádný hardware. Využívá pouze software, který simuluje reálné zařízení. Výhodou je odzkoušení programu přímo na PC. Nevýhodou je větší nepřesnost chování než HIL.

Metoda HIL simuluje program pomocí reálného řídicího hardwaru propojeného s PC. HIL umožňuje komplexní testování různých variant řešení, přesnější oproti SIL. Nevýhoda tohoto řešení je potřeba řídicího hardwaru. [18]

3.5 Vhodné nástroje pro virtuální zprovoznění

V první řadě je potřeba zvolit takový nástroj pro vytvoření digitálního modelu navrhovaného systému, který umožňuje přidání do modelu fyzikální vlastnosti, jako je kinematika, dynamika a prvky logiky. Pomocí těchto vlastností lze simulovat jednotlivé operace. Dále je potřeba zvolit řídicí systém, který bude vhodně propojen s digitálním modelem a bude ho moc ovládat.

Souhrn některých společností zabývajících se virtuálním zprovozněním:

- ABB – kapitola 3.5.1
- BECKHOFF – kapitola 3.5.2
- EKS InTec GmbH – kapitola 3.5.3
- Siemens – kapitola 3.5.4

3.5.1 ABB

Firma ABB je velkým dodavatelem průmyslových robotů po celém světě, která vytvořila program RobotStudio. Tento program slouží k offline programování a simulaci průmyslových robotů. To znamená programování robotů na počítači bez nutnosti zástavby výroby. ABB se pyšní tím, že RobotStudio nabízí nástroje ke zvýšení ziskovosti robotického systému, a to z důvodu možnosti školení, programování a optimalizace, bez přerušení výroby.

RobotStudio umožňuje implementaci přesných kopií reálných řídicích systémů, kterými jsou roboty řízeny ve výrobě. To poskytuje velmi realistickou simulaci. Nevýhodou RobotStudia je orientace na roboty pouze od firmy ABB, ačkoliv v současnosti přidala další roboty s názvem SCARA. Dále neumožňuje připojení externího řídicího systému.

Pro praktickou část této práce se program RobotStudio nedá použít. Jelikož je orientován pouze na produkty firmy ABB a neumožňuje připojit externí řídicí systém. [19] [20]

3.5.2 Beckhoff

Firma Beckhoff dodává a vyvíjí otevřen automatizační systémy založené na technologii PC. Jedná se o průmyslová PC, komponenty průmyslových sběrnic, automatizační software, atp. Filozofie Beckhoff představuje univerzální řešení pro otevřené řízení a automatizaci používanou na celém světě, a to vše v nejrůznějších aplikacích od CNC obráběcích strojů až po inteligentní automatizaci budov.

Beckhoff se neustále snaží vyvíjet inovativní produkty a řešení s využitím technologie řízení na bázi PC. Ve druhém čtvrtletí 2020 chce firma Beckhoff uvolnit na trh rozhraní TC3 CAD. Což umožňuje propojení mezi 3D CAD programem Autodesk Inventor a programem TwinCAT. Cílem tohoto spojení je virtuální spojení na bázi SIL (viz kapitola 3.4.1).

Produkt TwinCAT 3 od firmy bechhoff umožňuje realizaci automatizačního systému na základě techniky PC, který dokáže komunikovat s jinými programy v reálném čase. TwinCAT 3 nabízí velkou škálu komunikačních rozhraní včetně rozhraní OPC UA (viz kapitola 3.6.2). Tato komunikace bude použita v praktické části této práce, proto byl TwinCAT 3 zvolen pro vytvoření PLC programu, který bude ovládat 3D model. [21] [22] [23]

3.5.3 EKS InTec GmbH

EKS InTec GmbH je partnerem v oblasti vývoje, designu a softwaru, jakož i virtuálního uvedení do provozu výrobních systémů. Díky vlastnímu vývoji RF Suite EKS InTec realizuje virtuální zprovoznění kompletních výrobních systémů a tvoří základ pro jejich digitální stíny.

Díky programu RF suite lze dosáhnout virtuálního zprovoznění. Program nabízí 3D simulaci s mechanickými chování a začlenění senzorů a akčních členů. Avšak neumožňuje propojení s TwinCAT 3. Z tohoto důvodu se program v další části práce nedá použít. [24]

3.5.4 Siemens

Předním výrobcem simulačních softwaru je firma Siemens. Nabízí CAD, CAE, CAM řešení v podobě programu NX. Pomocí nástavby NX Mechatronic Concept Designer (NX MCD), který umožňuje vložení fyzikálních vlastností a simulovat virtuální stroj.

SIMT Simulation Platform (SIMIT SP) slouží pro virtuální uvedení a testování před zavedením do provozu. SIMIT SP přijímá i odesílá signály z NX MCD a zpracovává je. Komunikace mezi NX MCD a SIMIT SP je za pomoci Shared memory. Dále umožňuje simulovat různé stavy a následně sledovat reakce virtuálního stroje. Tahle možnost je vhodná pro odladění 3D modelu, nikoliv pro vytváření komplexního PLC programu. SIMIT SP může komunikovat s reálným PLC za pomoci mezičlenu SIMIT Unit, kde je propojení skrz komunikační rozhraní PROFINET nebo Ethernet. Takže lze PLC program naladit přímo na skutečném PLC, který je pak použit ve výrobě. SIMIT SP také dokáže komunikovat s virtuálním PLC, pomocí několika komunikačních rozhraní, mezi které patří i komunikační rozhraní OPC UA (viz kapitola 3.6.2). [25]

Programy od firmy Siemens jsou nejvhodnější pro další část této práce. Důvodem je možnost vložení 3D modelu do programu NX a následnému vložení fyzikálních vlastností prostřednictvím NX MCD. Dále prostřednictvím programu SIMIT SP lze propojit simulaci v NX MCD a PLC program, který simulaci ovládá.

3.6 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní slouží ke komunikaci mezi řídicím systémem a 3D modelem. V této podkapitole bude popsáno spojení mezi NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3.

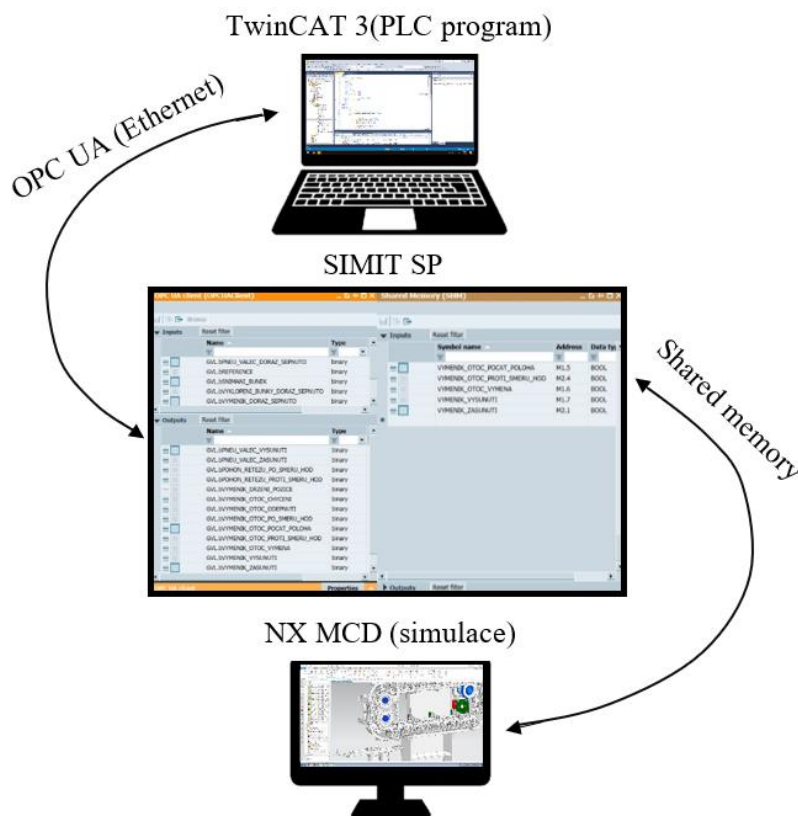
3.6.1 Spojení mezi NX MCD SIMIT SP

Shared memory je použitá komunikace mezi NX MCD a SIMIT SP. Princip Shared memory je v exportování data z NX MCD, v případě této práce, do textového souboru a následném importu do SIMIT SP. Po Importu dojde k mapování dat mezi NX MCD a SIMIT SP. V tu chvíli mohou oba programy používat stejná data současně. Takže, když jeden z programu něco změní, ve druhém programu se změna okamžitě ukáže. Příkladem může být libovolný senzor, jakmile něco zaznamená, hned se to projeví v druhém programu. [26]

3.6.2 Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3

Společné komunikační rozhraní mezi SIMIT SP a TwinCAT 3 je OPC UA. OPC (Ole for Process Control) je komunikační protokol, jehož cílem je výměna dat pro bezpečnou, spolehlivou, průmyslovou komunikaci. Rozděluje se na OPC DA (DA=Data Access) a OPC UA (UA=Unified Architecture), kde hlavním rozdílem je způsob komunikace. OPC DA je závislá na Microsoft standardech (COM a DCOM), kdežto OPC UA má jako standart Ethernet, díky tomu můžou mezi sebou komunikovat různé operační systémy. [27] [28]

Příklad propojení NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3. na Obrázku 3.5 je znázorněno propojení mezi TwinCAT 3 a SIMIT SP prostřednictvím OPC UA. a propojení NX MCD se SIMIT SP pomocí Shared memory.



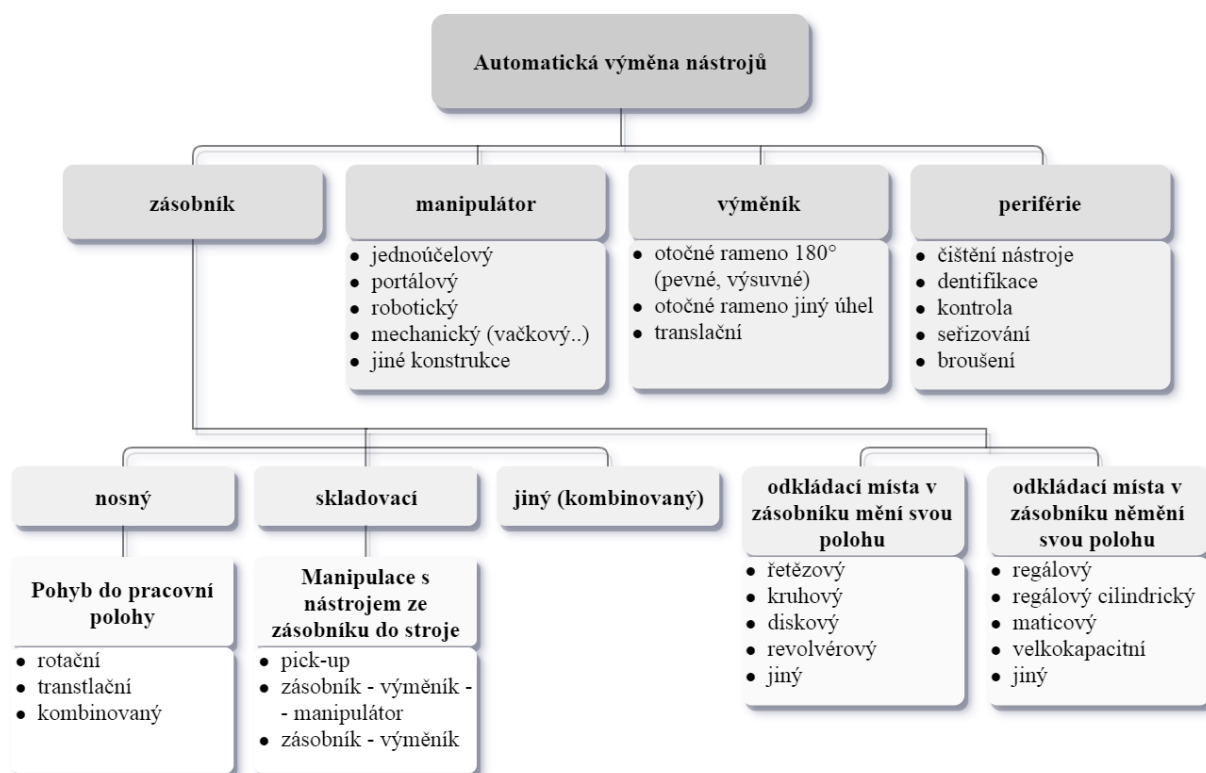
Obrázek 3.5: Propojení NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3

3.7 Automatická výměna nástrojů

Proces, při kterém dochází k automatické výměně nástrojů mezi zásobníkem nástrojů a vřetenem obráběcího centra. Díky tomu dojde k významnému zkrácení času výrobního procesu, čímž se šetří nejen provozní a výrobní náklady, ale také lidské zdroje, které jsou jinak k ruční výměně nástrojů potřebné. Automatická výměna nástrojů zajišťuje (Obrázek 3.6) manipulaci, odkládání, polohování a upnutí nástrojových jednotek v obráběcím centru bez zásahu lidské obsluhy. [29]

Výměna nástrojů se realizuje ve dvou případech: buď se vyměňuje opotřebovaný nástroj za nový, nebo je potřeba vyměnit nástroj kvůli technologické operaci. Na konstrukční provedení automatické výměny nástrojů jako celku jsou kladeny specifické požadavky: [30]

- minimální čas cyklu výměny nástroje, který spadá do skupiny vedlejších časů;
- vysoká funkční spolehlivost s ohledem na velkou četnost výměny a vysokou cenu stroje;
- optimální kapacita zásobníku pro danou oblast využití stroje a realizované technologické operace (snaha o kompletní obrobení);
- prostorově úsporné řešení (co nejmenší zastavěná plocha);
- odolnost proti vlivu znečištění (třísky, prach, chladicí kapalina);
- zvýšená přesnost ustavení polohy nástroje v místě výměny (platí pro moderní nástrojové soustavy);
- nástrojová variabilita – možnost manipulovat dlouhými, těžkými nástroji s velkým průměrem vedle lehkých a malých nástrojů;
- kombinace více nástrojových soustav na jednom stroji;



Obrázek 3.6: Morfologie automatické výměny nástrojů [29]

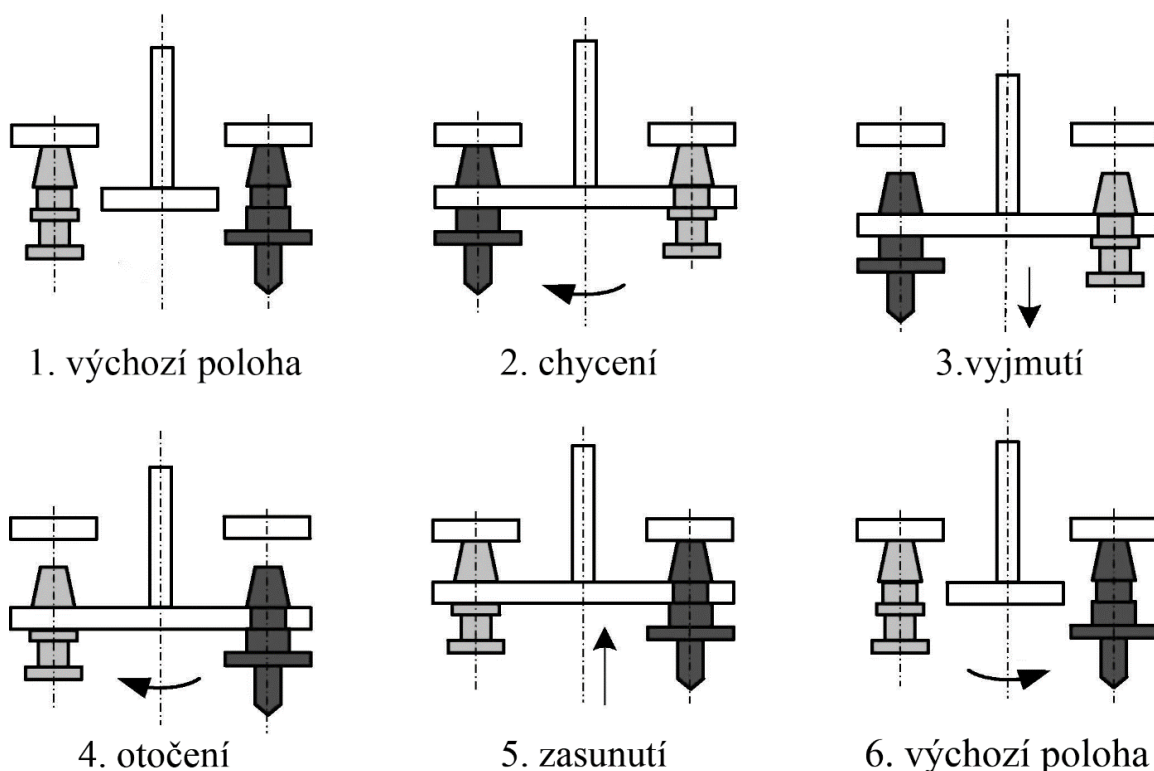
3.7.1 Výměník

Zajišťuje rychlou a spolehlivou výměnu nástroje mezi vřetenem a manipulátorem nebo rovnou zásobníkem. Konstrukce se většinou skládá z ramene s dvěma uchopovacími čelistmi, kde úhel mezi nimi je 180° a osa rotace ramene je přesně uprostřed mezi uchopovacími čelistmi. Existují výměníky i s jiným úhlem.

Mechanismy náhonu výměníku se používají elektrické, hydraulické, pneumatické a kombinované. Nejčastěji se používá elektrický náhon. Pro dosažení krátkých časů výměny nástroje s velkou opakovatelností a vysokou přesností polohy jsou pro vykonání požadovaných rotačních a translačních pohybů dvouramenného výměníku použity rovinné a prostorové vačky. Pro řízení se používají koncové spínače a narážky. [29]

Princip automatické výměny nástroje s pevně uchyceným výměníkem (Obrázek 3.7): [31]

1. výchozí poloha
2. otočení dvouramenné páky o 90° (uchopení nástroje ze zásobníku a nástroje ve vřetenu)
3. vyjmutí nástroje z pozic
4. otočení dvouramenné páky o 180°
5. zasunutí nástroje z vřetena do zásobníku a nástroj ze zásobníku se zasune do vřetena
6. otočení dvouramenné páky o 90° (výchozí poloha)



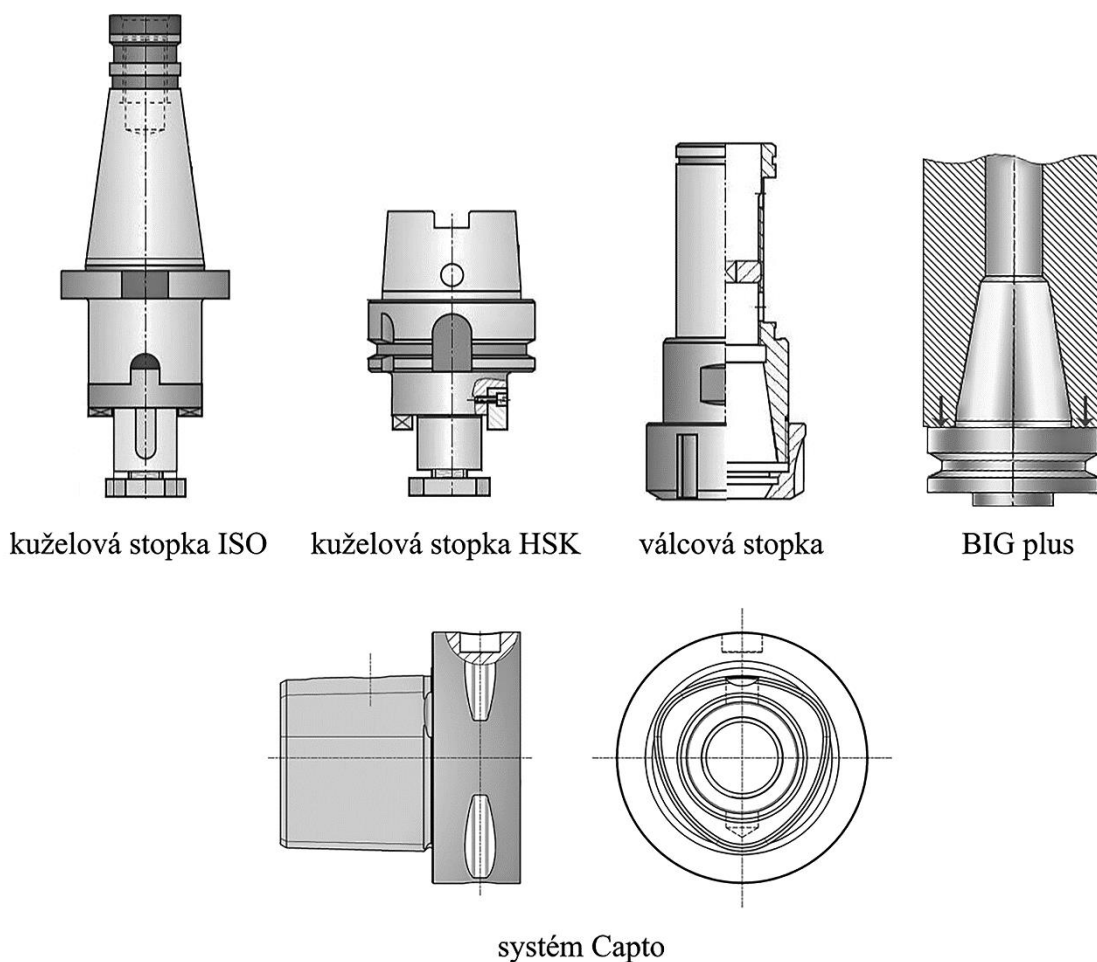
Obrázek 3.7: Princip automatické výměny nástroje [31]

3.7.2 Nástrojové stopky

Nástroj je obvykle chápán jako celek, tedy část, která se upíná do stroje. Nástrojová stopka je upnuta ve stroji, část, která obrábí se označuje jako břit a mezi břitem a stopkou je tělo nástroje. Rozhraní mezi stopkou a vřetenem obráběcího stroje má zásadní vliv na výsledky, které lze s nástrojem dosáhnout. Zvolené rozhraní musí zajišťovat rychlou výměnu nástroje, vysokou opakovatelnou přesnost a řadu dalších. [29] [32]

Nástrojové stopky (Obrázek 3.8): [30]

- kuželová stopka ISO (kuželovitost 7:24);
- krátká kuželová stopka HSK (kuželovitost 1:10), šest různých provedení (A až F);
- válcová stopka (méně často);
- speciální profil, např. trojúhelníkový Sandvik Coromant Capto;
- BIG Plus (v podstatě jako kuželová stopka ISO a k tomu usazení na čelo);



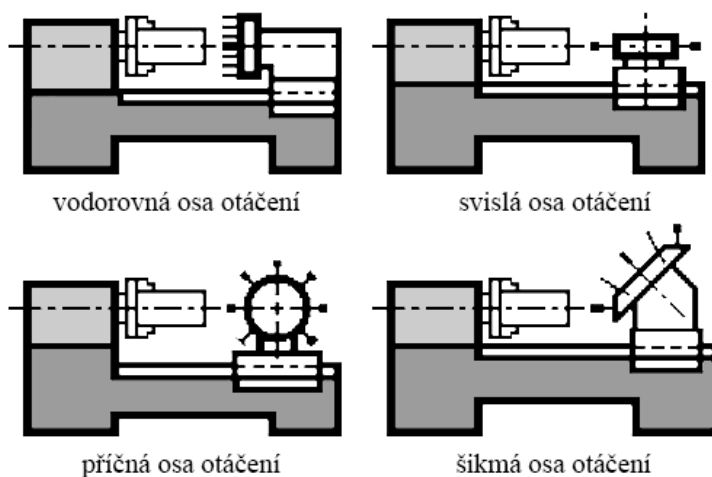
Obrázek 3.8: Nástrojové stopky [33] [34] [35]

3.7.3 Systémy s nosným zásobníkem

Nosné zásobníky jsou nejčastěji tvořeny revolverovou hlavou (Obrázek 3.9), v ní jsou uloženy nástroje, které mohou být buď poháněné (vrtání, frézování a podobně), nebo nepoháněné (typicky soustružení). Další dělení nosného zásobníku může být, pokud je měněn samotný nástroj (Obrázek 3.10), nebo celé vřeteno s nástrojem (Obrázek 3.11). Řezné síly od nástroje jsou přenášeny do zásobníku a následně do rámu stroje. [29] [36]



Obrázek 3.9: Typy revolverových hlav [29]



Obrázek 3.10: Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů [36]

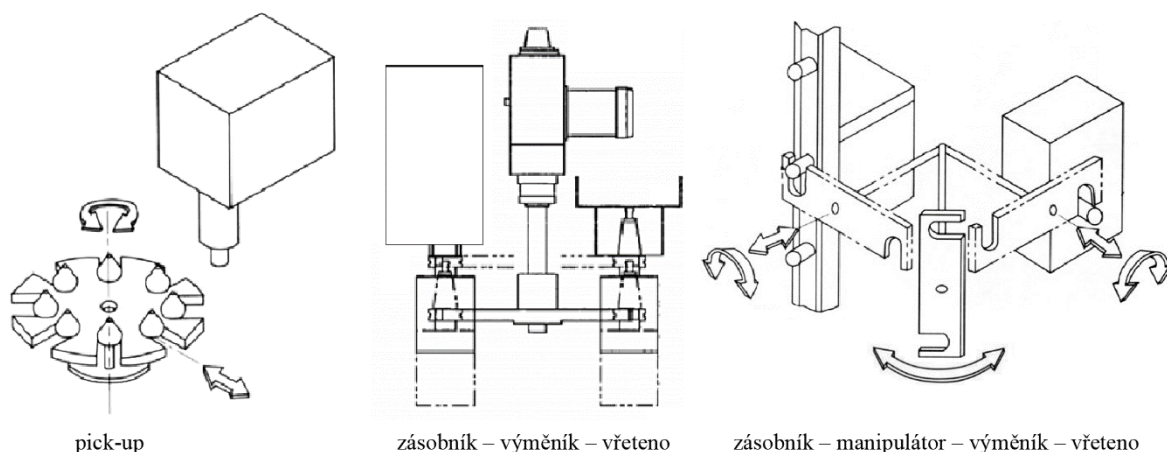


Obrázek 3.11: Systémy s výměnou celých vřeten [36]

3.7.4 Systémy se skladovacím zásobníkem

Skladovací zásobníky slouží pouze ke skladování nástrojů a nejsou součástí nosného systému, tudíž nepřenášejí žádné řezné síly. Nástroje musí být bezpečně uskladněné a zajištěné ve skladovacím zásobníku, který je v blízkosti pracovního prostoru. Manipulátory a výměníky slouží k dopravě nástroje ke stroji, případně si pro nástroj dojde sám stroj.

Skladovací zásobníky můžeme rozdělit (Obrázek 3.12) na pick-up (přímá výměna), zásobník–výměník–vřeteno, zásobník–manipulátor–výměník–vřeteno. Dále je můžeme rozdělit na maloobjemové a velkoobjemové. [29] [36]



Obrázek 3.12: Rozdělení skladovacích zásobníků podle manipulace [36]

3.7.5 Systémy kombinované

Existuje i kombinace systémů s nosným a se skladovacím zásobníkem nebo i kombinace zásobníků stejného typu. Bývají to složité systémy, které mají uplatnění především u jednoúčelových strojů. [29]

4 DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

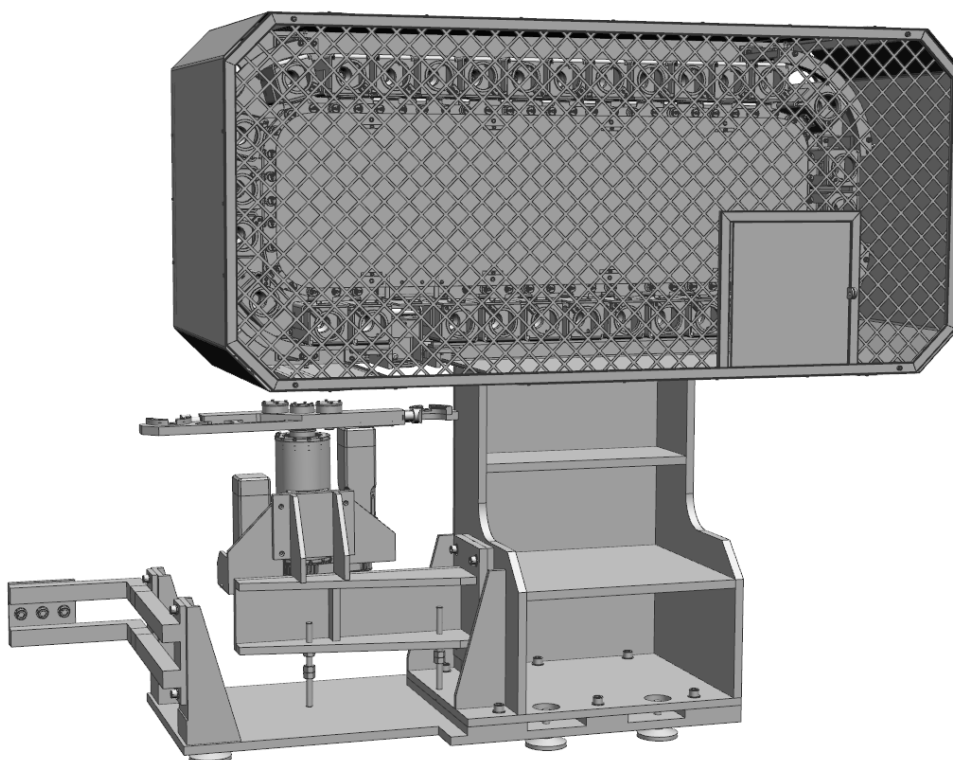
Tato kapitola se věnuje praktické části této práce. 3D model výměníku nástrojů byl získán z ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT. Úpravy i simulace jsou realizovány v programu NX a v nastavbě k tomuto programu Mechatronic Concept Designer. K dosažení virtuálního zprovoznění je nejprve potřeba dát 3D modelu fyzikální vlastnosti, senzory, akční členy a řídicí signály. Dále je nutné propojit NX MCD se SIMIT SP a následně propojit SIMIT SP s TwinCAT 3. Tento program je nainstalován na jiné zařízení než NX MCD a SIMIT SP a bude z něj následně simulace ovládaná. Po propojení se vytvoří PLC program, který ovládá 3D model. Pro zjednodušení ovládání je vytvořena vizualizace v TwinCAT 3.

Rozvržení práce:

- Zavazbení 3D modelu – kapitola 4.2
- Fyzikální vlastnosti – kapitola 4.3
- Senzory a akční členy – kapitola 4.4
- Řídicí signály – kapitola 4.5
- Spojení mezi NX MCD a SIMIT SP – kapitola 4.6
- Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3 – kapitola 4.7
- Spojení mezi NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3 – kapitola 4.8
- Vytvoření a vizualizace PLC programu – kapitola 4.9

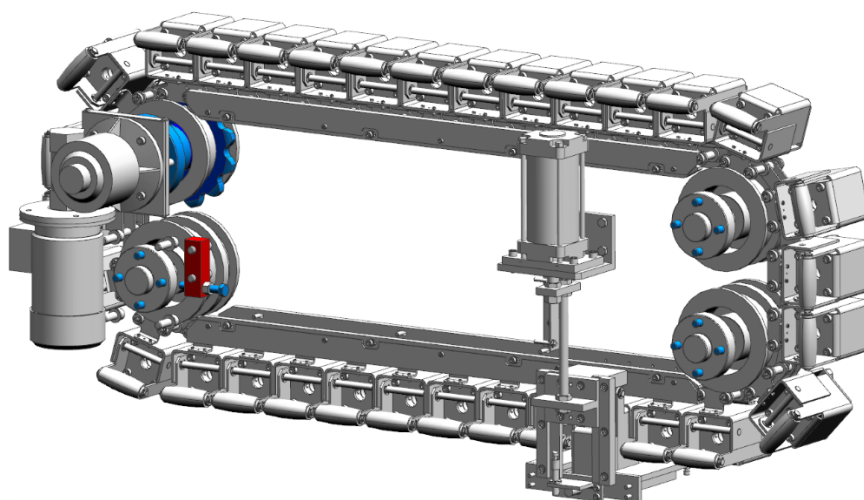
4.1 3D Model zadaného výměníku nástrojů

Zadaný 3D model výměníku nástrojů (Obrázek 4.1) slouží k výměně nástroje pro CNC stroj. Model je složen z rámu, na kterém je zásobník a výměník nástrojů.



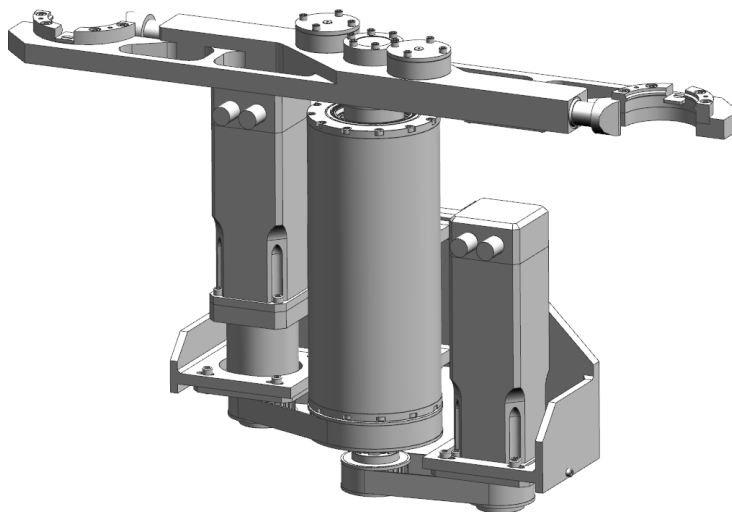
Obrázek 4.1: 3D Model výměníku nástrojů

Jedná se o skladovací zásobník (viz kapitola 4.1.4) řetězového typu (Obrázek 4.2). Kapacita pro 32 nástrojů. Řetěz je poháněn elektromotorem přes šnekové soukolí a vyklopení nástrojové buňky je provedeno pomocí pneumatického válce (Obrázek 4.3).



Obrázek 4.2: Zásobník nástrojů

Výměník nástroje je poháněn dvěma motory, kde jeden zajišťuje vysunutí a druhý otáčení. Oba motory jsou spojeny s výměníkem pomocí řemenu.



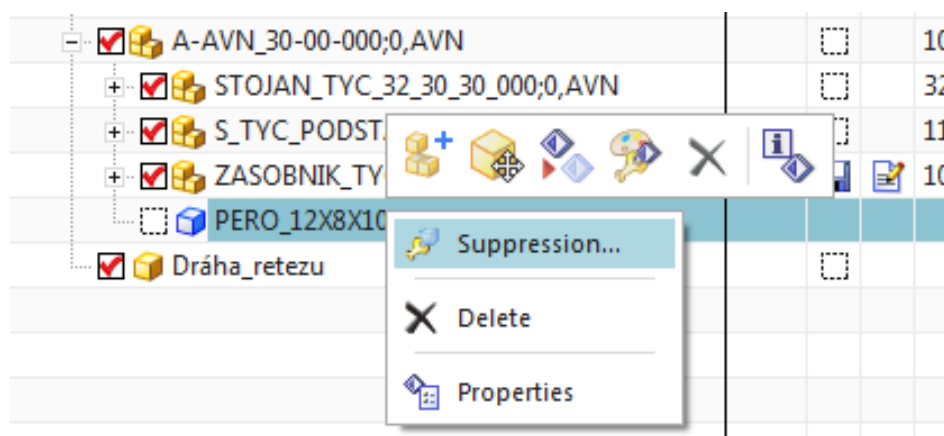
Obrázek 4.3: Výměník nástroje

Celý proces výměny nástroje funguje tak, že stroj si zavolá konkrétní buňku na určité pozici, ve které je požadovaný nástroj. Zásobník se otáčí, dokud senzor umístěný v konstrukci nenapočítá požadovanou buňku s požadovaným nástrojem. V ten okamžik je zastaven pohon řetězu. Požadovaná buňka je na pozici, kde probíhá výměna. Tato výměna probíhá natočením buňky o 90°, čím se dostane nástroj ven z krytu zásobníku a je přístupný k výměně. Výměník je vysunut do takové polohy, aby bylo možné následným otočením chytout nástroj ve vřetenu a požadovaný nástroj v buňce. Dále dojde k výměně nástrojů (viz kapitola 4.1.1).

4.2 Zavazbení 3D modelu

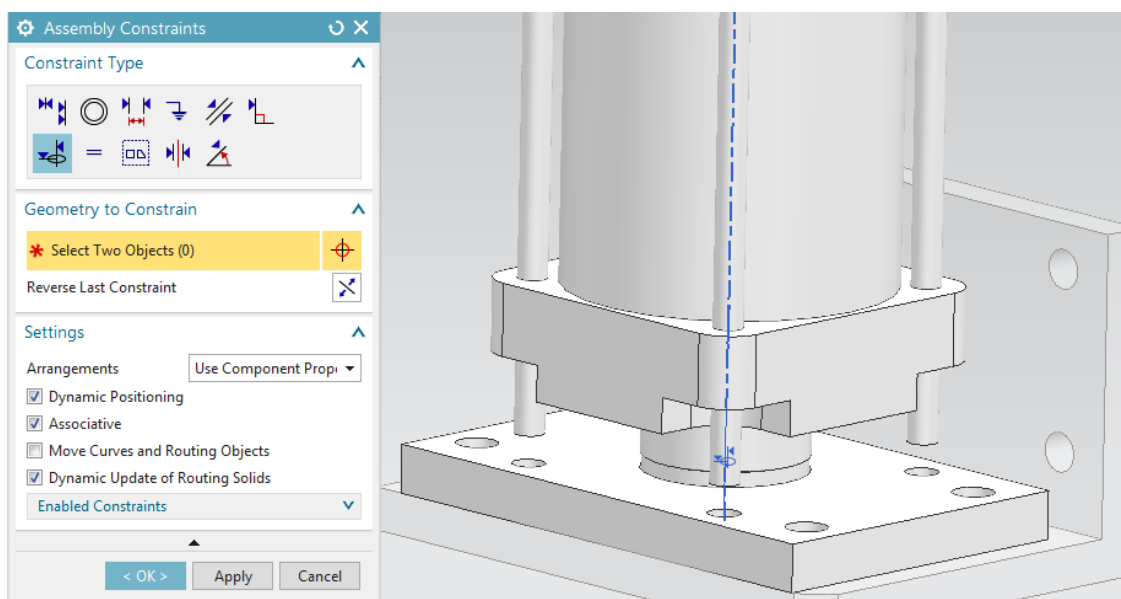
3D model poskytnutý školou VUT FSI, byl potřeba upravit. Pro simulaci je nutné odstranit, či potlačit nepotřebné díly. Bylo zvoleno potlačení (Obrázek 4.4), aby se daly kdykoliv jednotlivé díly vrátit.

Potlačené díly jsou šrouby, matice, podložky, čepy atd., jsou potlačeny kvůli zanedbané hmotnosti a kvůli zrychlení simulace. Tyto díly jsou nahrazeny vazbami a nijak neovlivní průběh simulace.



Obrázek 4.4: Potlačení dílu

Pro zavazbení dílů je v programu NX zvolena funkce *Assembly Constraints*. Tato funkce je v kartě *Home–Component Position–Assembly Constraints*. Příkladem je pneumatický motor (Obrázek 4.5).



Obrázek 4.5: Zavazbení pneumatického motoru

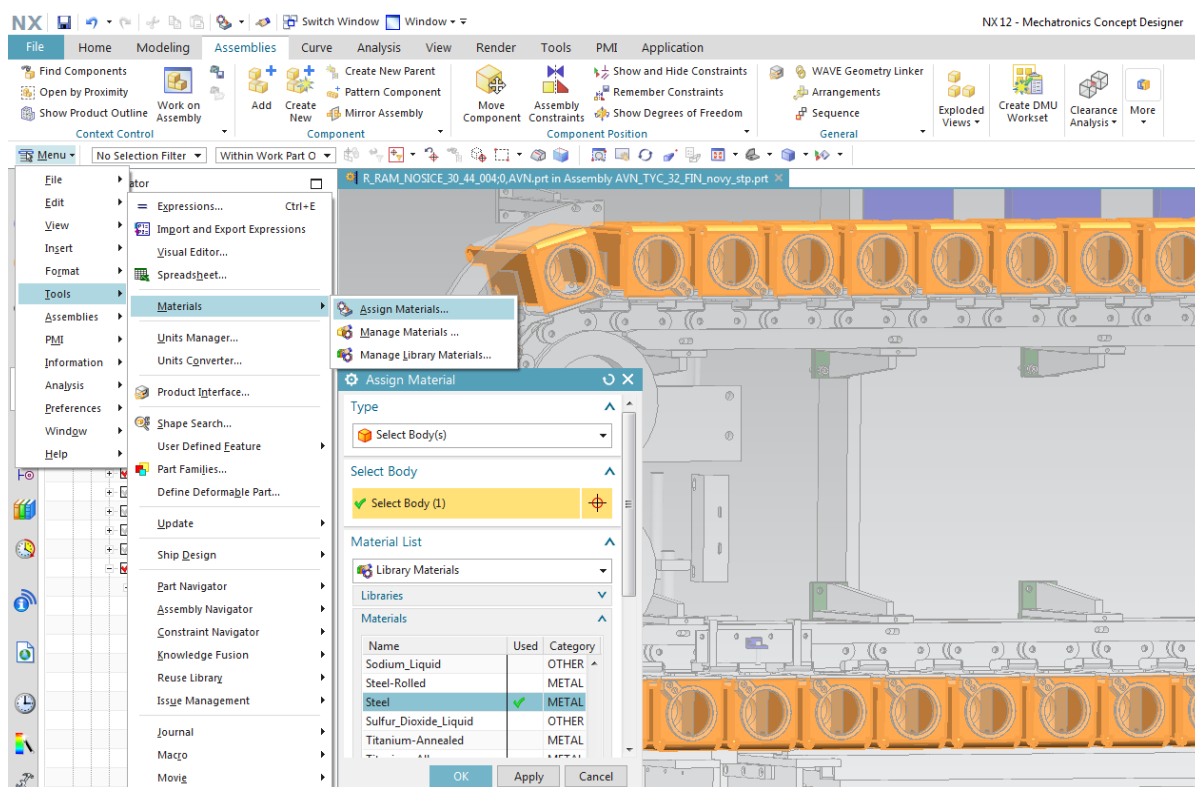
4.3 Fyzikální vlastnosti

Mezi základní fyzikální vlastnosti, které jsou potřeba pro realizaci virtuálního zprovoznění, patří dynamické vlastnosti a kinematické vazby. Pro zjednodušení a urychlení výpočtů při simulaci jsou fyzikální vlastnosti přiřazeny pouze dílům, které jí mohou ovlivnit.

4.3.1 Dynamické vlastnosti

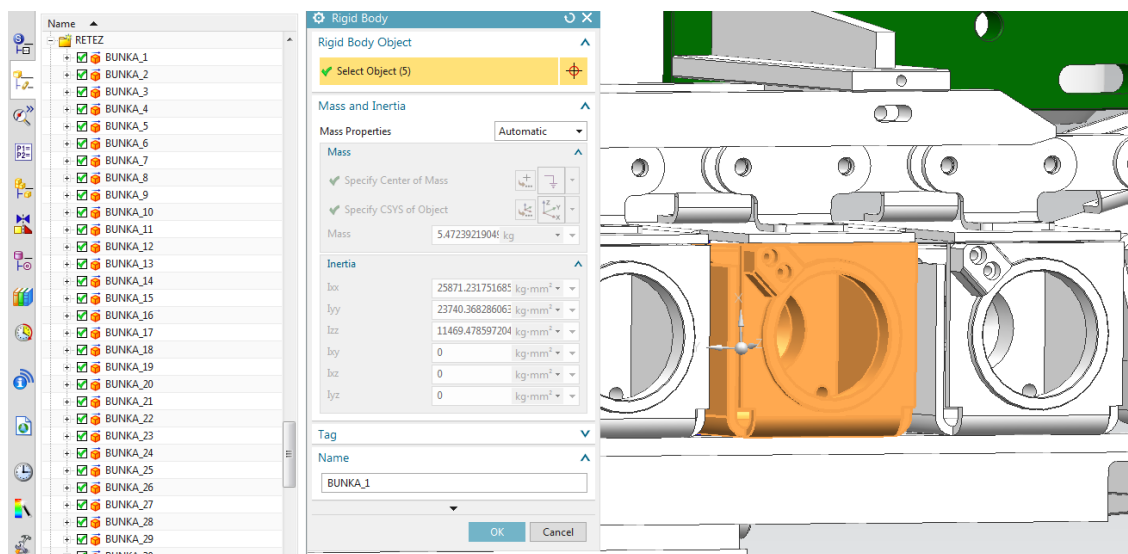
Aby byla dosažená reálná simulace, je nutné v první řadě definovat u dílů materiál, hmotnost, moment setrvačnosti a těžiště. Zmíněné vlastnosti by měly co nejvíce odpovídat skutečnosti.

Příkladem pro vložení materiálu jsou vybrány buňky nástrojů (Obrázek 4.6). V programu NX se materiál vkládá v *Menu–Tools–Materials–Assign–Materials*. Buňky jsou propojené, tudíž při vložení materiálu do jedné buňky je materiál přidán do všech buněk. Materiál ocel byl použit z knihovny programu.



Obrázek 4.6: Přiřazení materiálu

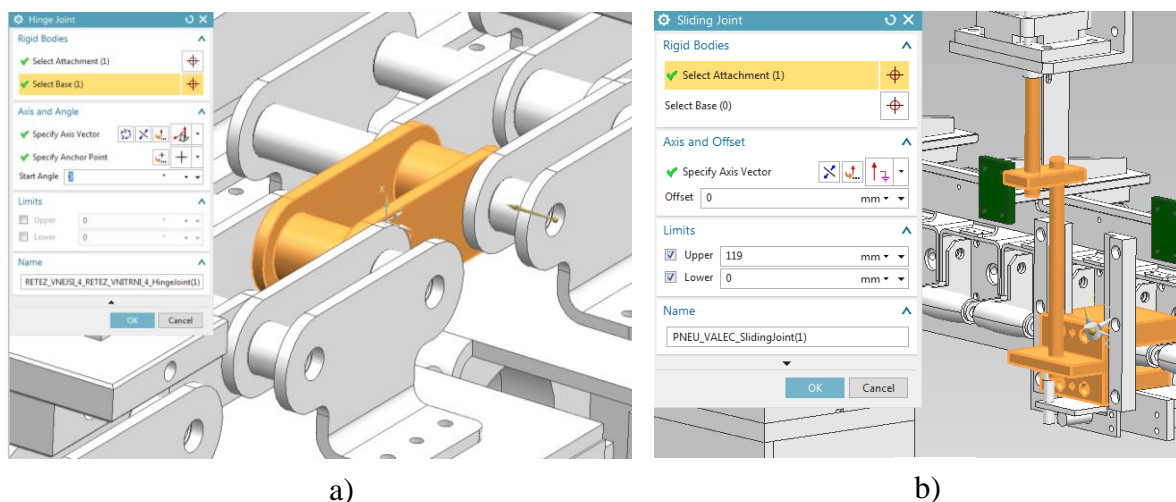
Ve funkci *Rigid Body* byl vložen moment setrvačnosti, hmotnost a těžiště (Obrázek 4.7). Pro urychlení výpočtů v simulaci, bylo z více dílů vytvořeno jedno těleso. Například výklopná buňka je složena z komponent jako je držák nástrojové stopky, kroužek dosedu nástroje, kámen nástroje, kladka a rám nosiče. Všechny tyto komponenty jsou vloženy do jednoho tělesa s názvem *BUNKA_1*. *Rigid Body* se nachází na kartě *Home–Mechanical–Rigid Body*. Dynamické vlastnosti byly nastaveny automaticky programem, pomocí předešlého zadání materiálů a velikosti těles. Pomocí funkce *Rigid Body* se chování těles v 3D modelu blíží reálnému chování, tak jako u skutečných těles.



Obrázek 4.7: Přirazení momentu setrvačnosti, hmotnost a těžiště

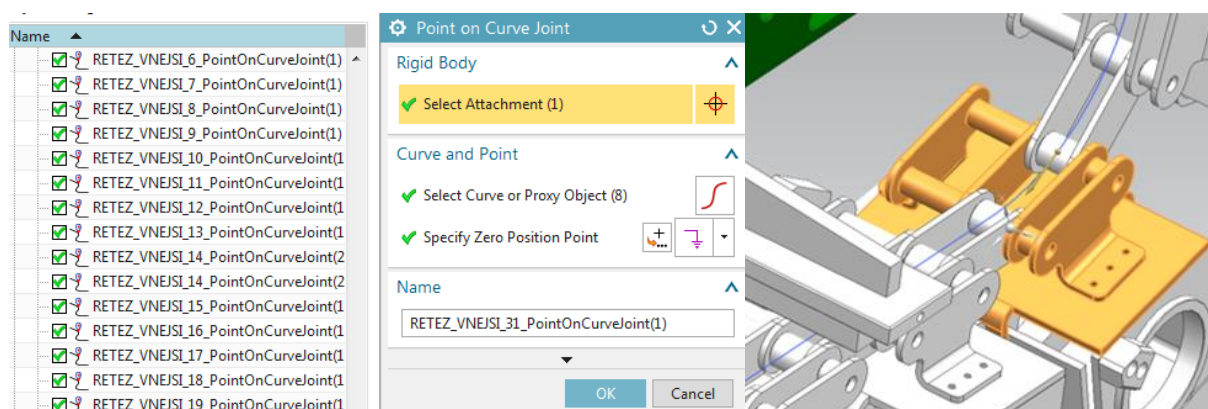
4.3.2 Kinematické vazby

Kinematické vazby vytváří reálné vztahy mezi tělesy, jako je rotační pohyb, translační pohyb, pevné spojení atd. V kartě *Home–Mechanical–Joints* jsou veškeré vazby. Příkladem na Obrázku 4.8 je vybrána vazba a) *Hinge Joint*, která spojuje články řetězu a vytváří mezi nimi rotační vazbu a za b) *Sliding Joint*, která umožňuje vysouvání pneumatického válce.



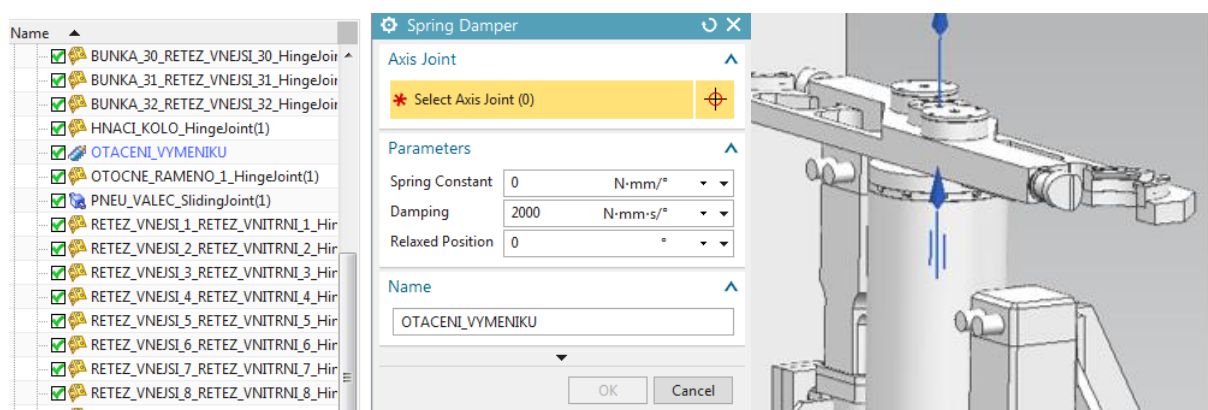
Obrázek 4.8: Vložení kinematické vazby a) *Hinge Joint*, b) *Sliding Joint*

Po zavazbení se řetěz začal chovat jinak, než by měl. Při spuštění simulace se choval nepředvídatelně a různě se prohýbal v prostoru, a to z důvodů, že možnosti softwaru jsou omezené. Následkem zmíněného chování byla vytvořena křivka, po které řetěz jezdí (Obrázek 4.9). Tímhle způsobem sice není 3D model úplně dokonalou replikou skutečného řetězu, ale celkovou simulaci to nijak zvlášť neovlivní. Vazba *Point on Curve Joint* (Obrázek 4.9) byla využita pro zavazbení mezi řetězem a křivkou. Tato vazba je taktéž k nalezení v kartě *Home–Mechanical–Joints*.



Obrázek 4.9: Vložení trajektorie řetězu

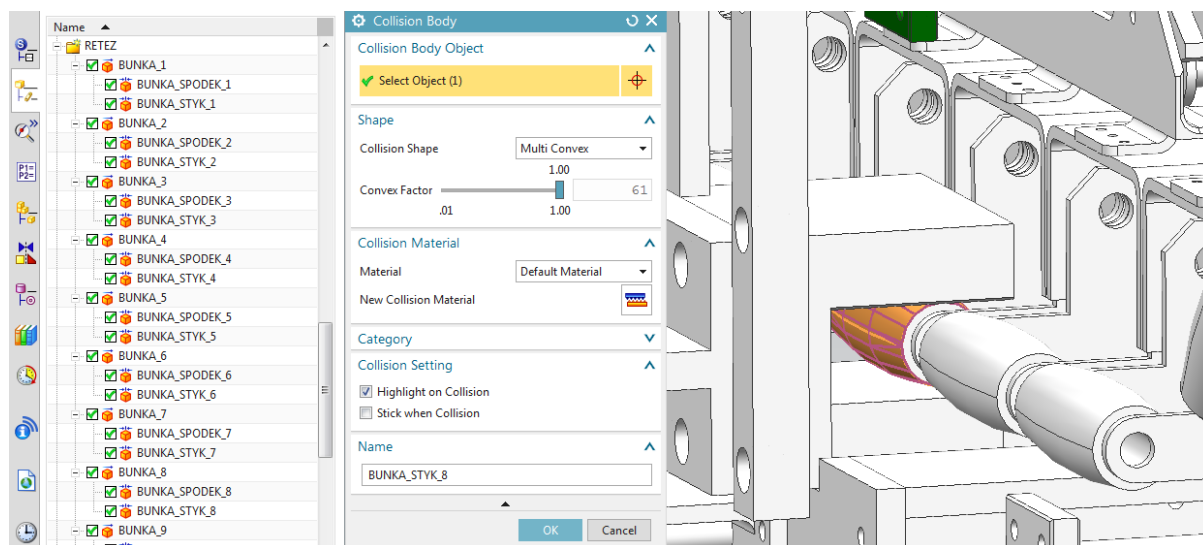
Výměník nástrojů byl zjednodušen, kvůli výpočtům při simulaci. Výměník umožňuje výsuv, otáčení a zajištění nástroje při otáčení. Tření při otáčení bylo nahrazeno funkcí *Spring Damper* (Obrázek 4.10), nacházející se na kartě *Home–mechanical–constraints–Spring Damper*. Výsuvné válce zajišťující nástroj, nebylo možné zrealizovat. Program NX MCD nemá žádnou funkci, která by to podporovala. Z těchto důvodů se v 3D modelu nevyskytuje, ale simulaci to nijak neovlivňuje.



Obrázek 4.10: Vložení funkce *Spring Damper*

4.3.3 Kolizní tělesa

Kolizní tělesa slouží k vzájemnému působení mezi dvěma a více tělesy. Příkladem je vyklápění buňky do polohy, kde může dojít k výměně nástroje (Obrázek 5.11). Byla využita funkce *Collision Body*, která v tomhle případě funguje tak, že když je zasouván pneumatický válec, chytne s sebou kladku od výklopné buňky a následně dojde k vyklopení buňky (Obrázek 4.11). Funkce *Collision Body* se nacházející v kartě *Home–mechanical–Collision Body*. Dalším využitím *Collision Body* může být u senzorů (viz kapitola 4.4)



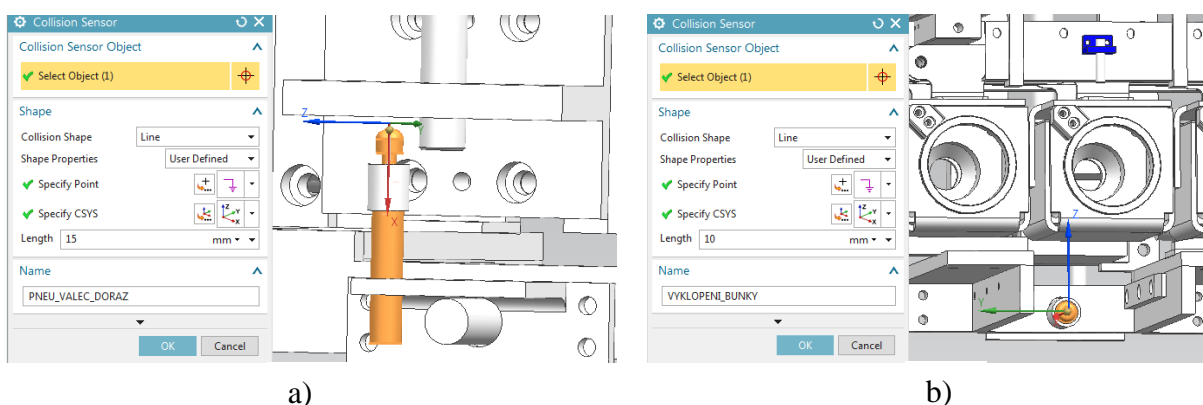
Obrázek 4.11: Vložení funkce *Collision Damper*

4.4 Senzory a akční členy

Senzory i akční členy jsou nedílnou součástí virtuálního zprovoznění. Aby bylo možné simulovat reálné chování zásobníku, je třeba vložit senzory i akční členy do 3D modelu tak, jak by to bylo ve skutečnosti.

4.4.1 Senzory

Senzory slouží k získání zpětné vazby. Příkladem je snímání dorazu při vysouvání pneumatického válce (Obrázek 4.12 a)) nebo snímání dorazu při vyklápění buňky do požadované pozice (Obrázek 4.12 b)), která je určena pro výměnu nástrojů. Funkce *Collision Sensor* je v kartě *Home–Electrical–Sensor–Collision Sensor*.

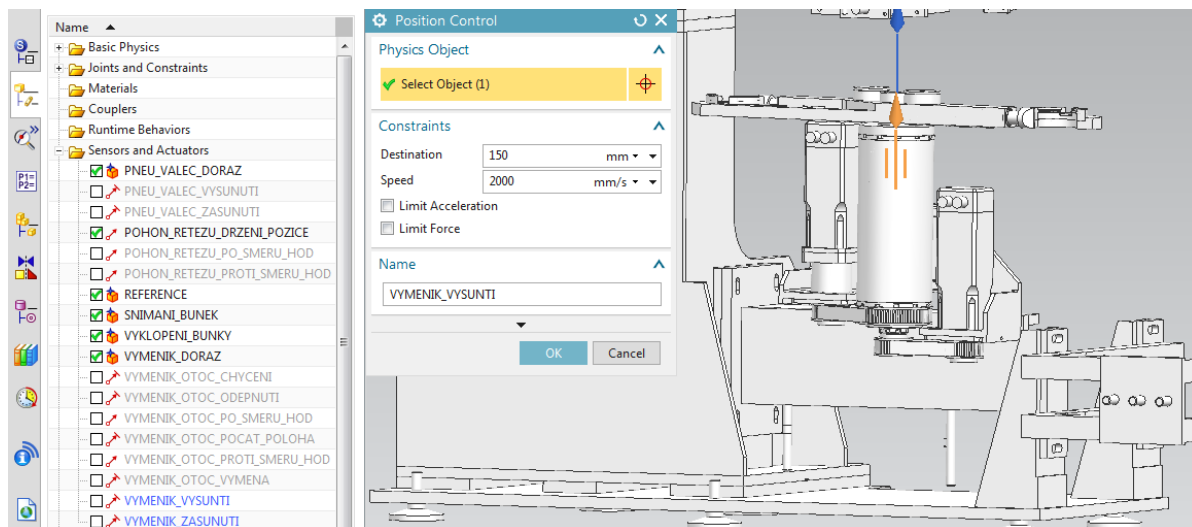


Obrázek 4.12: Vložení dorazu a) pneumatického válce, b) vyklápění buňky

4.4.2 Akční členy

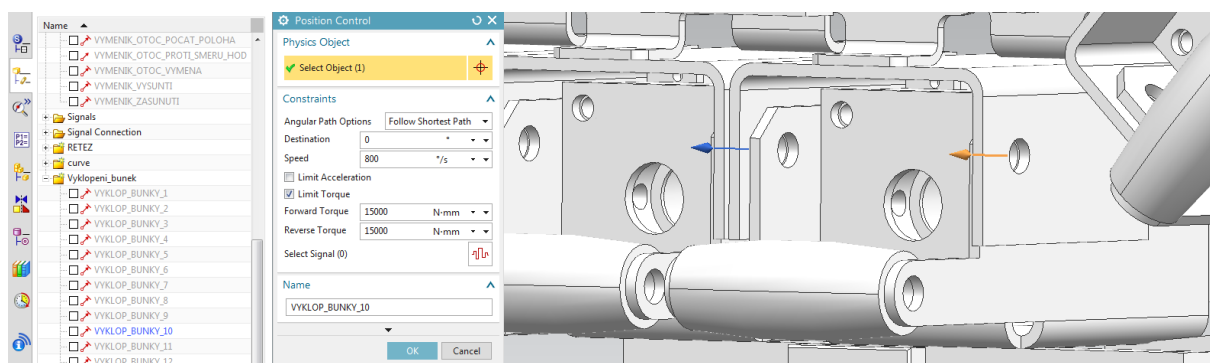
Akční členy slouží k rozpořádání 3D modelu. Jako příklad vytvoření akčního členu je použit výměník (Obrázek 4.13), kde je jak rotační akční člen, tak i translační. Funkce *Position*

Control lze najít v kartě *Home–Electrical–Actuators–Position Control*. Akční členy mohou být použity pouze na kinematických vazbách.



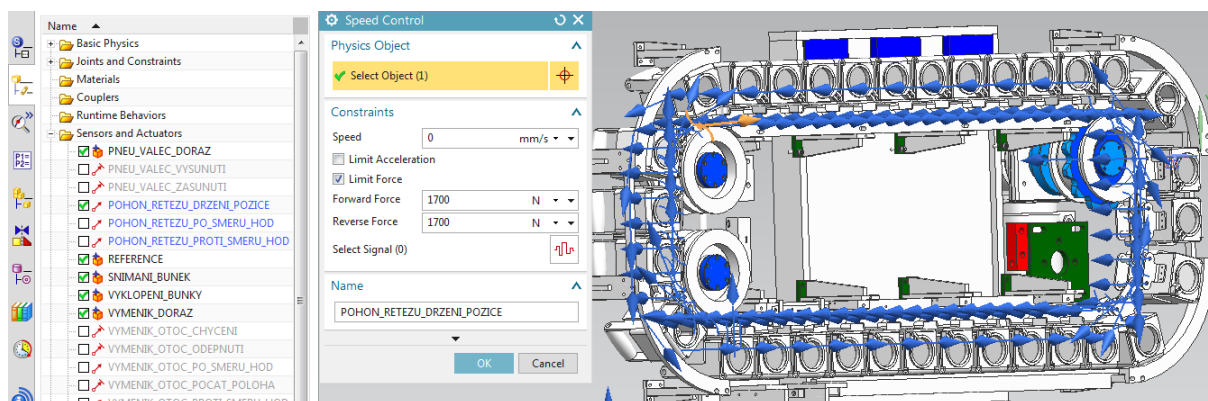
Obrázek 4.13: Použití akčního členu na výměníku

Výklopné buňky spojené s řetězem by měly být drženy vodícími lištami, díky tomu se nevyklápí. Tato možnost v NX MCD nelze uskutečnit. Aby buňky při otáčení řetězu držely zaklopné, bylo nutné použít akční členy. Nejprve se dala kinematická vazba *Hinge Joint* na každou buňku v místě otáčení. Poté se přidal akční člen, kde byl nastaven *Limit Torque* (Obrázek 4.14). Tato varianta drží buňky v zaklopné pozici, a zároveň neovlivňují pneumatický válec při vyklápění. Po vytvoření všech akčních členů držící výklopné buňky se během simulace ukazovaly akční členy jako aktivní, ale ve skutečnosti aktivní nebyly. S těchto důvodu se do PLC programu přidalo zapnutí těchto akčních členu, vždy při spuštění simulace.



Obrázek 4.14: Použití akčního členu na výklopné buňce

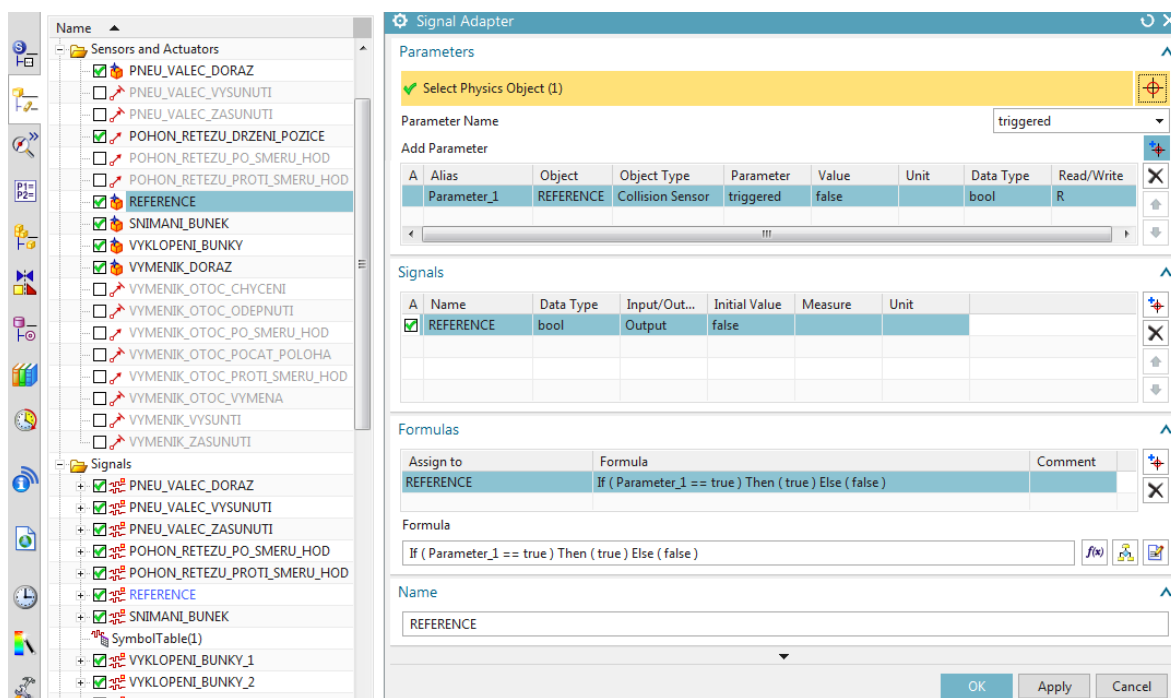
Podobným způsobem jako bylo držení pozice buněk, bylo řešeno držení pozice řetězu. Z důvodu použití trajektorie řetězu (viz kapitola 4.3.2), nedocházelo ke tření. Takže při zastavení pohonu se řetěz dál točil. Tření bylo nahrazeno akčním členem *Speed Control* (Obrázek 4.15), kde byl nastaven *Limit Force*. Tato funkce je v *Home–Electrical–Actuators–Speed Control*.



Obrázek 4.15: Použití akčního členu na řetězu

4.5 Řídicí signály

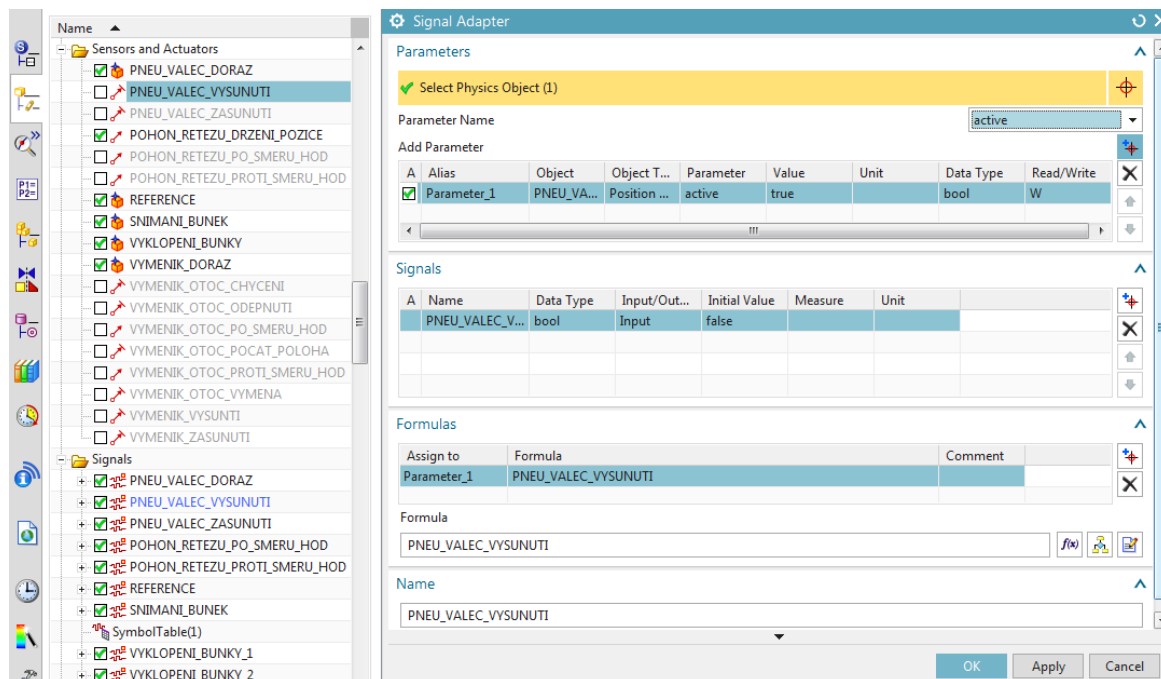
Řídicí signály komunikují se senzory a akčními členy, díky tomu je lze číst a ovládat. Vytvoření řídicího signálu v NX MCD lze pomocí funkce *Signal Adapter*, která se nachází v kartě *Home–Electrical–Signa–Signal Adapter*. Příkladem je zreferování výklopných buněk (Obrázek 4.16) pomocí senzoru *Collision Sensor* s názvem REFERENCE. V *Signal Adapter* bylo nastaveno *triggered*, které zajišťuje spínání při zaznamenání referenční buňky. U přidaného signálu byl zvolen *Output*, jelikož signál chceme číst.



Obrázek 4.16: Vytvoření referenčního signálu

V příkladu ovládání vysunutí pneumatického válce (Obrázek 4.17) pomocí *Collision Sensor* s názvem PNEU_VÁLEC_VYSUNUTI. V *Signal Adapter* bylo nastaveno *active*, které

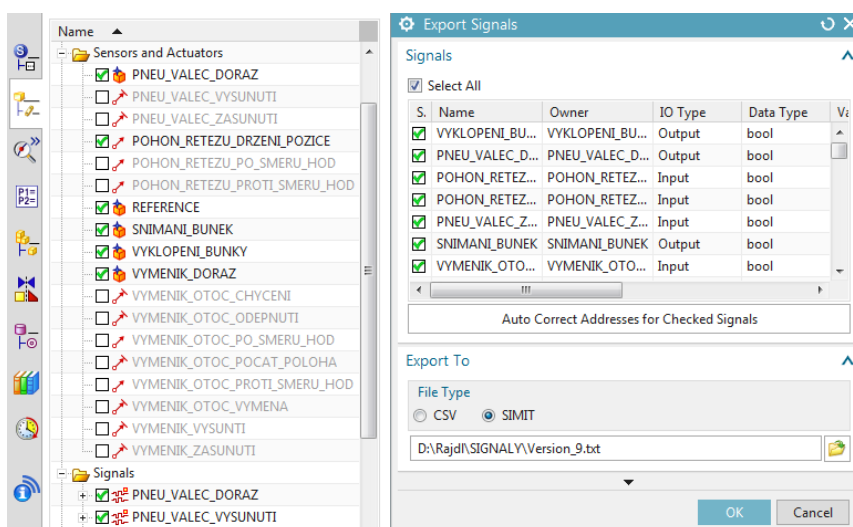
zajišťuje zapínání a vypínání akčního členu. U přidaného signálu byl zvolen *Input*, jelikož signál chceme ovládat.



Obrázek 4.17: Vytvoření signálu pro vysunutí pneumatického válce

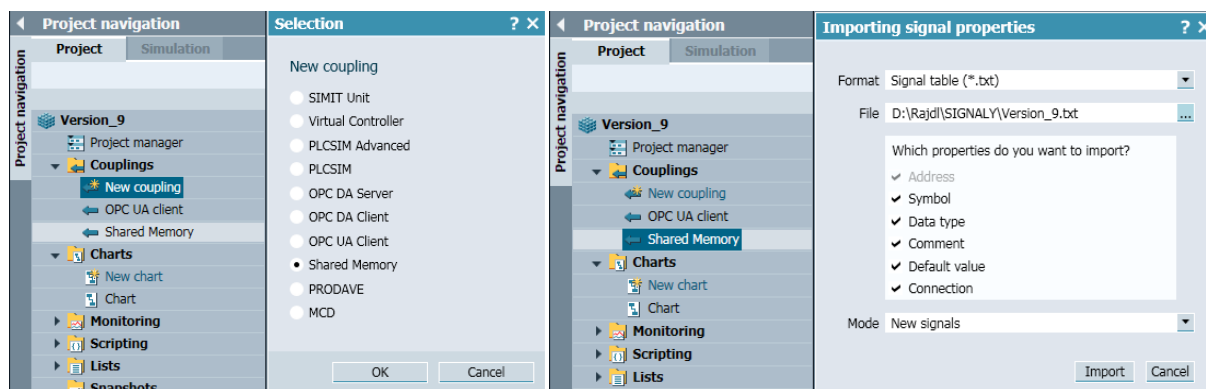
4.6 Spojení mezi NX MCD a SIMIT SP

Nejdříve bylo nutné exportovat řídicí signály do programu SIMIT SP. Export (Obrázek 4.18) proběhl za pomoci funkce v NX MCD *Export Signals*, které je v kartě *Home–Electrical–Signal–Export Signals*. Aby SIMIT SP přečetl exportované signály, muselo se ve *File Type* zaškrtnout SIMIT.



Obrázek 4.18: Export signálů z NX MCD do SIMIT SP

Dalším krokem propojení mezi NX MCD a SIMIT SP, bylo vytvoření takového spojení, aby dokázaly oba programy mezi sebou komunikovat. Společná komunikace se nazývá Shared memory. V SIMIT SP je funkce, která Shared Memory komunikaci zajišťuje. Nazývá se *New Coupling* (Obrázek 4.19 a)) a nacházející se v kartě *Project navigation–Couplings–New coupling*. Import signálů z NX MCD do SIMIT SP je na Obrázku 4.19 b).



a)

b)

Obrázek 4.19: a) Vytvoření Shared Memory, b) Import signálu z NX MCD do SIMIT SP

Importované signály do Shared Memory byly rozděleny na vstupy a výstupy (Obrázek 4.20) podle toho, jak byly vytvořeny v NX MCD (viz kapitola 4.5).

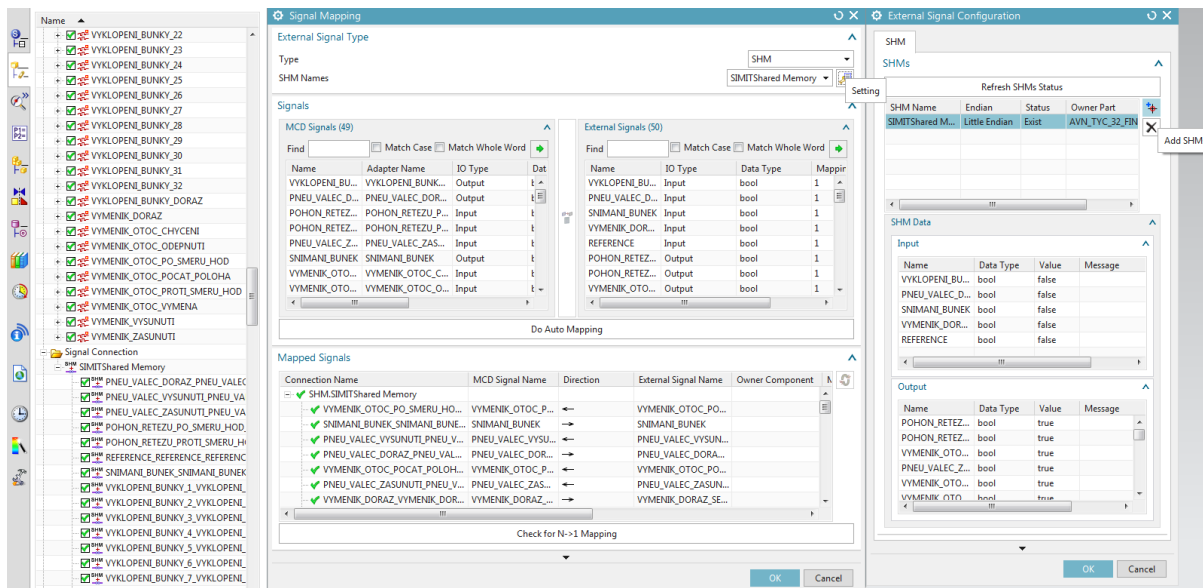
Project navigation		Shared Memory (SHM)			
Project navigation		Inputs			
		Default	Symbol name	Address	Data type
					Comment
		<input type="checkbox"/>	POHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD	M1.0	BOOL
		<input type="checkbox"/>	POHON_RETEZU_PROTI_SMERU_...	M1.1	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_CHYCENI	M1.2	BOOL
		<input type="checkbox"/>	PNEU_VALEC_ZASUNUTI	M1.3	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_ODPENUTI	M1.4	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA	M1.5	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_VYMENA	M1.6	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_VYSUNUTI	M1.7	BOOL
		<input type="checkbox"/>	PNEU_VALEC_VYSUNUTI	M2.0	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_ZASUNUTI	M2.1	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_PO_SMERU_HOD	M2.3	BOOL
		<input type="checkbox"/>	VYMENIK_OTOC_PROTI_SMERU_...	M2.4	BOOL
		Outputs			
			Symbol name	Address	Data type
					Comment
			VYKLOPENI_BUNKY_DORAZ_SEPNUTO	M0.0	BOOL
			PNEU_VALEC_DORAZ_SEPNUTO	M0.1	BOOL
			SNIMANI_BUNEK	M0.2	BOOL
			VYMENIK_DORAZ_SEPNUTO	M0.3	BOOL
			REFERENCE	M0.4	BOOL
			*		

Obrázek 4.20: Import signálu z NX MCD do SIMIT SP

K dokončení spojení se musí spustit SIMIT SP a v NX MCD použít funkci *Signal Mapping*, nacházející se v kartě *Home–Automation–External Controller–Signal Mapping*. Ve Funkci *Signal Mapping* (Obrázek 4.21) se nejprve nastaví *Type* na SHM, dále v *SHM Names* se otevře *Setting*, kde se zobrazí okno s názvem *External Signal Configuration*. Zde se přidá nový SHM (Add SHMs) a název se volí podle toho, jak je pojmenován v SIMIT SP. Dále

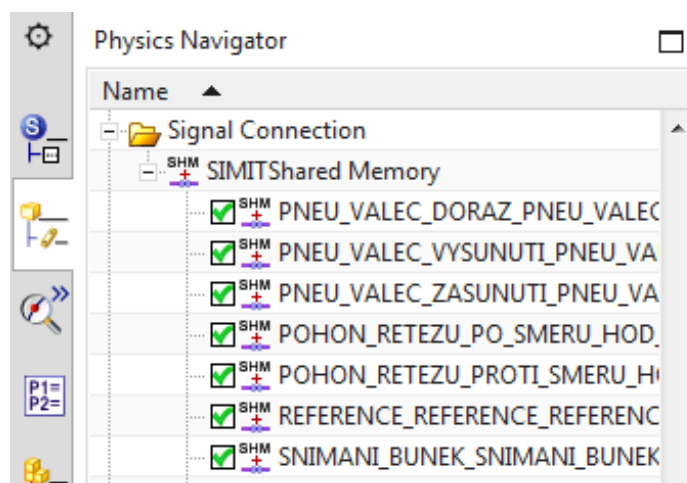
v *Signal Mapping* jsou všechny signály z obou programů, takže stačí potvrdit *Do Auto Mapping* a signály se propojí. Ověření správného namapování je za pomoci zelených „fajfek“.

Namapované signály jsou vytvořeny v *SIMITShared Memory*, který se nachází ve *Physics Navigator* (obrázek 4.22) ve složce *Signal Connection*.



Obrázek 4.21: Mapování signálů mezi NX MCD a SIMIT SP

Při spuštění SIMIT SP a simulace v NX MCD lze ověřit, jestli spolu programy komunikují, a to tím způsobem, že při změně signálu v jednom z programu se změna projeví i ve druhém programu. Příkladem může být pohon řetězu. V SIMIT SP je aktivován pohon řetězu a v NX MCD při spuštěné simulaci se řetěz rozpohybuje. Dalším příkladem může být snímání výklopných buněk, kde je pohon řetězu spuštěn a následně jsou výklopné buňky rozpohybovány. Jakmile senzor zaznamená buňku, okamžitě pošle signál do SIMIT SP o tom, že zaznamenal výklopnou buňku, okamžitě se rozsvítí zaznamenaní buňky. Spojení mezi NX MCD a SIMIT SP proběhlo úspěšně.

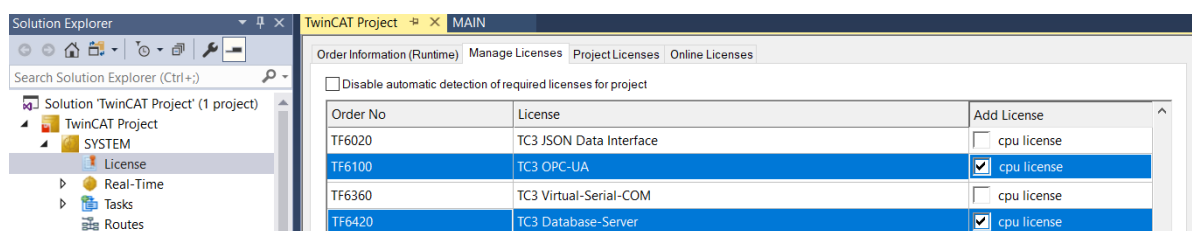


Obrázek 4.22: Vytvořené signály mezi NX MCD a SIMIT SP

4.7 Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3

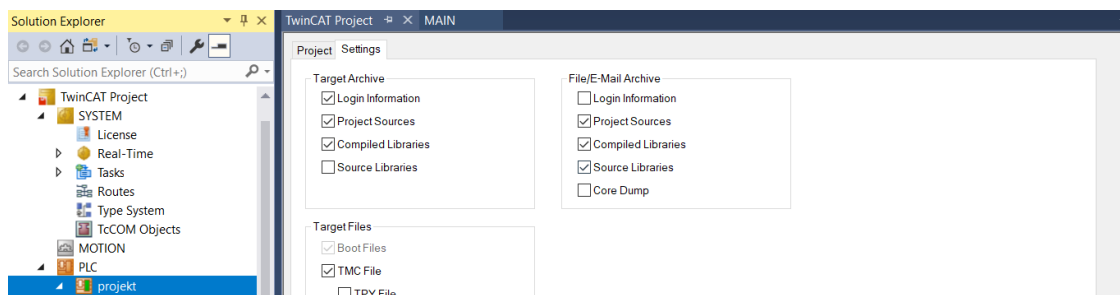
Spojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3 je za pomoci komunikačního rozhraní OPC UA (viz kapitola 3.6.2), kde SIMIT SP tohle rozhraní podporuje a u TwinCAT 3 je nutno doinstalovat. Na stránkách BECKHOFF byl stažen instalační balíček s názvem TF6100 TC3 OPC UA.

Po nainstalování zmíněného balíčku, je spuštěn TwinCAT 3, OpcUa Server SysTray a UaGateway. Všechny programy jsou důležité k tomu, aby došlo ke správnému nastavení komunikace. Pro úspěšné provázání mezi programy je zapotřebí v TwinCAT 3 přidat licence s názvem *TC3 Database-Server* a *TC3 OPC-UA* (Obrázek 4.23). Cesta k přidání licencí je v kartě *Solution Explorer*, kde je složka s názvem *TwinCAT Project–SYSTÉM–License* a v této složce je *Manage Licenses*, kde se přidávají licence.



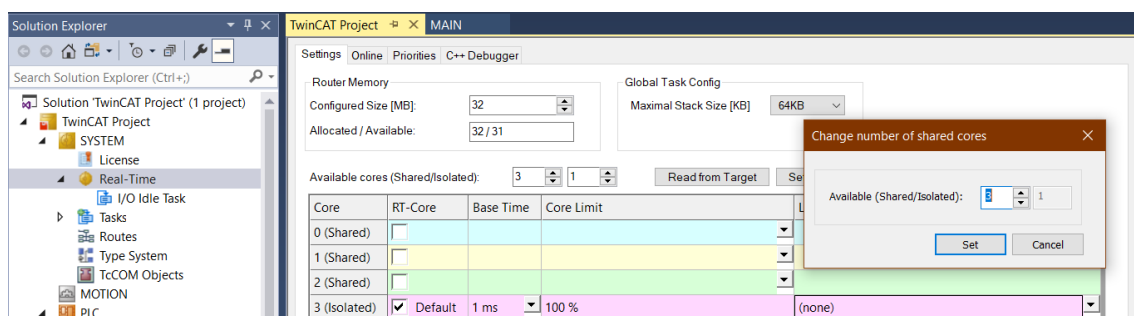
Obrázek 4.23: Přidání Licencí

Dále bylo potřeba zaškrtnout *TMC File* (Obrázek 4.24), který se nachází v kartě *Solution Explorer*, kde je složka s názvem *TwinCAT Project–PLC–projekt* a v této složce je *Settings*, kde je *Target Files*. Zde je zaškrtnut již zmíněný *TMC File*.



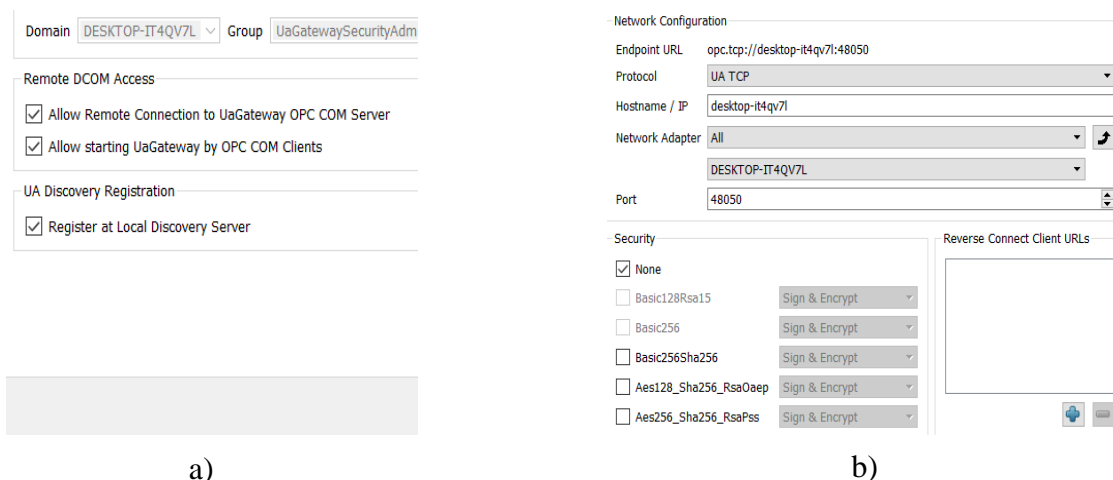
Obrázek 4.24: Zaškrtnutí TMC File

Aby mohlo dojít ke spuštění programu v TwinCAT 3, je nutné izolovat jedno jádro z procesoru (Obrázek 4.25). Isolování jádra je v kartě *Solution Explorer*, kde je složka *TwinCAT Project–SYSTÉM–Real_Time* a v té složce je *Settings*, kde se nastavuje izolace jádra



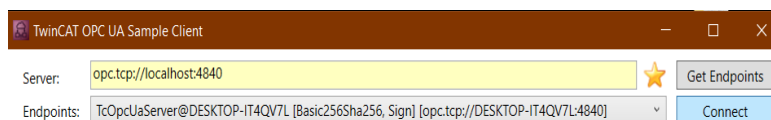
Obrázek 4.25: Zaškrtnutí TMC File

V programu UaGateway byl nastaven vzdálený přístup v sekci *General* (Obrázek 4.26 a)). V sekci *UA Endpoints* bylo nastaveno *Network Configuration* a *Security* dle Obrázku 4.26 b)

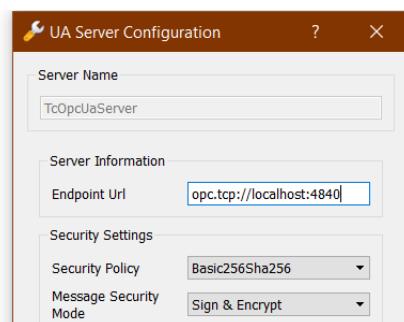


Obrázek 4.26: Nastavení a) *General*, b) *UA Endpoints*

Vyzkoušení komunikace proběhne nejdříve v notebooku na lokální síti. V programu OPC UA Sample Client (Obrázek 4.27) se nastaví server podle UaGateway Administration v sekci *UA Server Configuration* dle Obrázku 4.28. Dále se klikne na *Get Endpoints* a v *Endpoints* se vybere podle *Security settings* dle Obrázku 4.28. Dále se klikne na *Connect*, čímž dojde k propojení s projektem v programu TwinCAT 3.

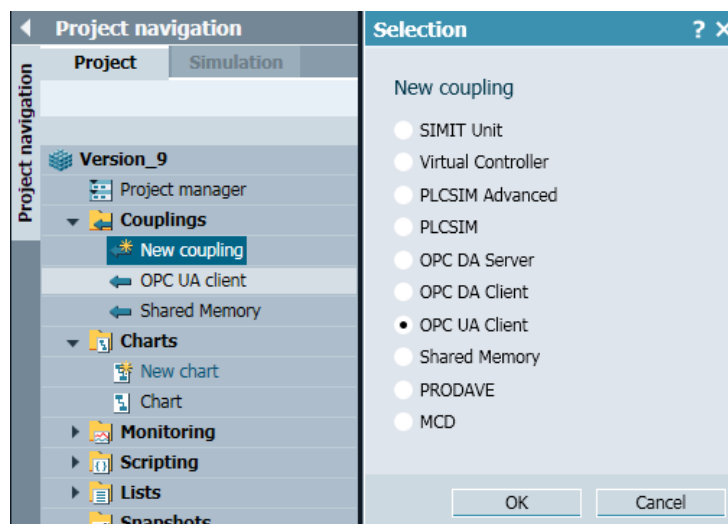


Obrázek 4.27: Spojení OPC UA Sample Client s TwinCAT 3 projektem



Obrázek 4.28: Nastavení lokálního *Endpoint Url*

Ze strany TwinCAT 3 je komunikace nastavena, tudíž je dále potřeba nastavit komunikaci v SIMIT SP. Ta se nastaví použitím funkce *New Coupling* (Obrázek 4.29), která se nachází v kartě *Project navigation–Couplings–News coupling*.



Obrázek 4.29: Vytvoření OPC UA Client

V OPC UA Client (Obrázek 4.30) je nastaveno *OPC UA server URL* a *Endpoint* podle Obrázku 4.26 b). *Namespace URI* je vybráno podle názvu projektu PLC1 v TwinCAT 3.

OPC UA client	
Property	Value
Time slice	2
OPC UA server URL	opc.tcp://desktop-it4qv7l:48050
Endpoint	TcOpcUaGateway@DESKTOP-IT4QV7L [None, None] [opc.tcp://desktop-it4qv7l:48050]
Namespace URI	TcOpcUaServer/urn:BeckhoffAutomation:Ua:PLC1
Status display	is_active

Obrázek 4.30:Nastavení OPC UA Client

V TwinCAT 3 byly nejdříve vytvořené globální vstupní a výstupní proměnné. Tyto proměnné jsou v kartě *Solution Explorer*, kde je složka s názvem *TwinCAT Project-PLC-projekt-projekt Project-GVLs-GVL* a do této složky jsou napsány proměnné. Zkratka GVL znamená seznam globálně proměnných (global variable list). Příkladem globálně vstupních proměnných je na obrázek 4.31 a). Příkladem globální výstupní proměnné je obrázek 4.31 b)

```
{attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}
bVYKLOPENI_BUNKY_DORAZ_SEPNUTO : BOOL;

{attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}
bPNEU_VALEC_DORAZ_SEPNUTO : BOOL;

{attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}
bSNIMANI_BUNEK : BOOL;
```

a)

```
{attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}
{attribute 'OPC.UA.DA.Access' := '1'}
bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD : BOOL;

{attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}
{attribute 'OPC.UA.DA.Access' := '1'}
bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD : BOOL;
```

b)

Obrázek 4.31:Globálně proměnné a) vstupní, b) výstupní

Při spuštění SIMIT SP a TwinCAT 3 lze ověřit, jestli spolu programy komunikují, a to tím způsobem, že při změně signálu v jednom z programu se změna projeví i ve druhém programu. Příklad na Obrázku 4.32 a) znázorňuje v TwinCAT 3 změnu proměnné

bVYMENIK_ZASUNUTI z hodnoty FALSE na hodnotu TRUE. Tato změna se projeví v SIMIT SP rozsvícením „čtverečku“ u proměnné *GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI* (Obrázek 4.32 b)). Spojení mezi TwinCAT 3 a SIMIT SP proběhlo úspěšně.

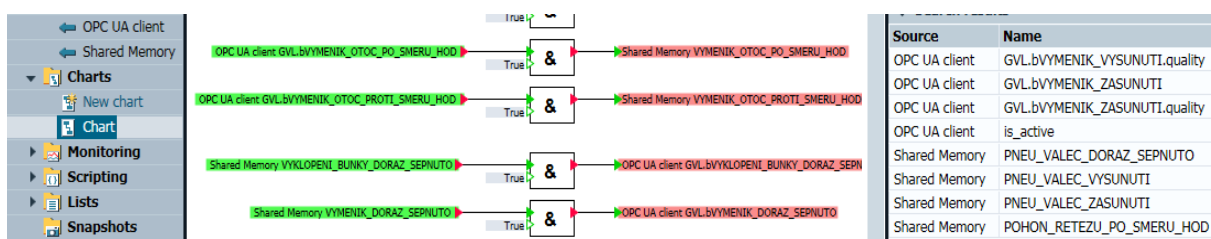


Obrázek 4.32: Změna proměnných v a) TwinCAT 3, b) SIMIT SP

4.8 Spojení mezi NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3

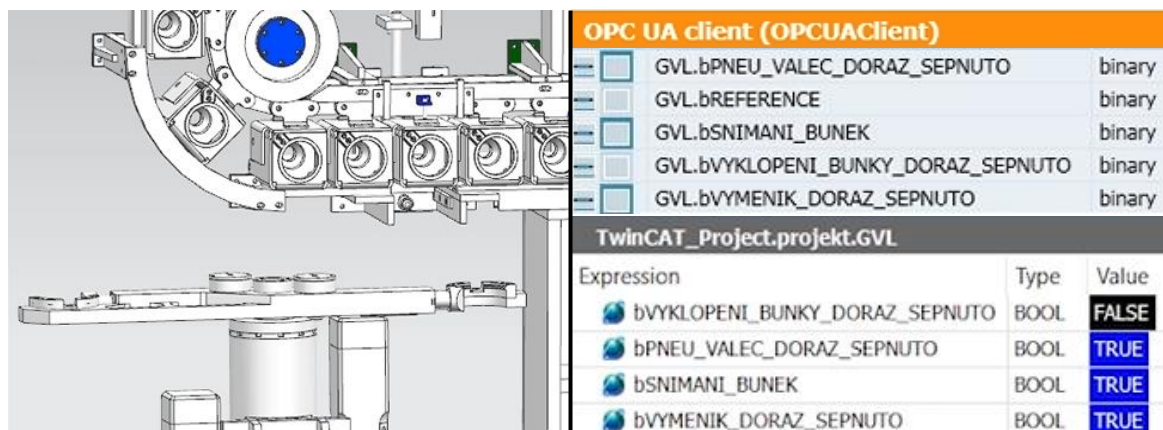
Propojením NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3 se zajistí, že TwinCAT 3 může ovládat simulaci v NX MCD. Propojit na přímo Twincat 3 s NX MCD nelze uskutečnit. Důvodem je nekompatibilní komunikace mezi programy. Aby mohly programy mezi sebou komunikovat, tak byl mezi ně vložen SIMIT SP, který je dokáže spojit. Propojení tedy bylo uskutečněno v SIMIT SP, a to tak, že se použila funkce *New chart*, která se nachází v kartě *Project navigation–Charts–New chart*. Tato funkce umožňuje propojit různé druhy komunikace. NX MCD používá ke komunikaci se SIMIT SP Shared Memory a TwinCAT 3 používá ke komunikaci se SIMIT SP OPC UA (viz kapitola 3.6.2).

Příklad propojení NX MCD s TwinCAT 3 na Obrázku 4.33. Zeleně označené proměnné jsou z TwinCAT 3 a červeně označené jsou z NX MCD. Propojení bylo za pomoci logického funkce *AND*. Tato funkce se v SIMIT SP nachází v kartě *Components–Basic components–STANDARD–BinaryBasic–AND*.



Obrázek 4.33: Propojení NX MCD s TwinCAT 3 v SIMIT SP

Ověření správného propojení mezi NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3, proběhlo spuštěním simulace v NX MCD. Dále byl spuštěn SIMIT SP a TwinCAT 3. Po spuštění všech programů je vidět na Obrázku 4.34, že došlo k úspěšnému propojení mezi všemi programy. V NX MCD je pneumatický válec vysunutý, to drží výklopnou buňku zaklopenou. Tudíž pošle signál do SIMIT SP o tom, že je pneumatický válec vysunut. V ten okamžik přepošle SIMIT SP signál do TwinCAT 3. Hodnota v programu TwinCAT 3 se změní na TRUE a v SIMIT SP se rozsvítí „čtvereček“.

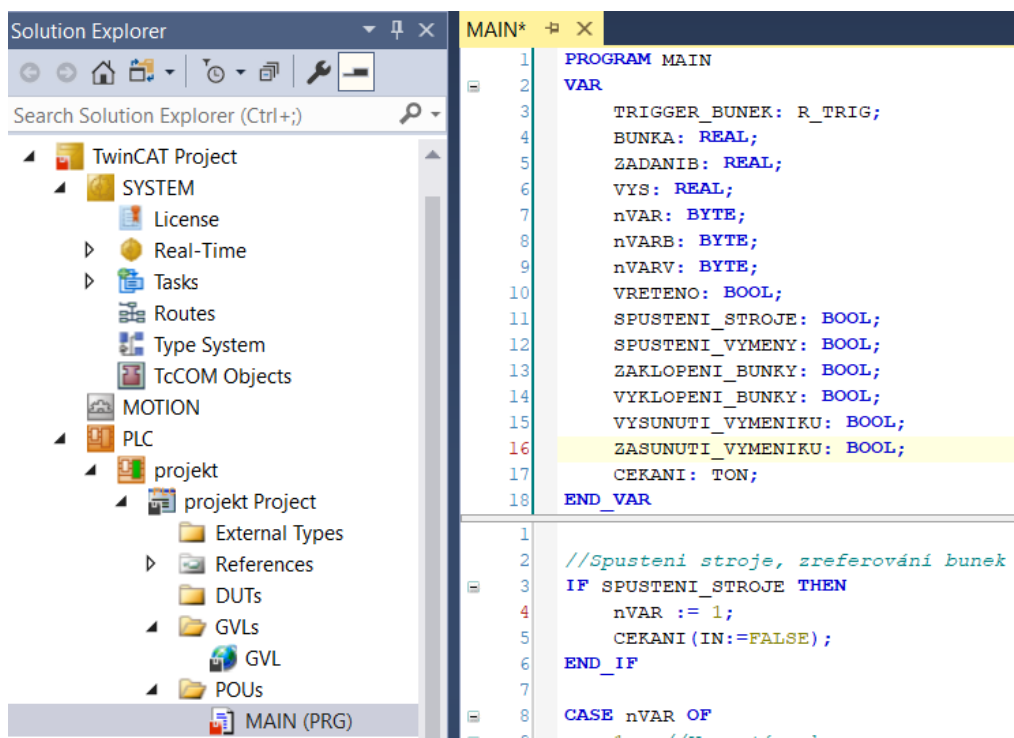


Obrázek 4.34: Ověření správné komunikace mezi NX MCD SIMIT SP a TwinCAT 3

4.9 Vytvoření a vizualizace PLC program

PLC program byl vytvořen v programu TwinCAT 3, jak již bylo zmíněno na Obrázku 4.31, byli vytvořeny GVL proměnné komunikující se SIMIT SP a zároveň s NX MCD.

Dále bylo nezbytné vytvořit další proměnné přímo v PLC programu. V kartě *Solution Explorer*, kde je složka s názvem *TwinCAT Project-PLC-projekt-projekt Project-POUs-MAIN (PRG)* je vytvořen celý PLC program, ovládající simulaci v NX MCD. Zkratka POU znamená program organization unit. Po otevření *MAIN (PRG)* se zobrazí dvě okna (Obrázek 4.35). V horním okně jsou vytvořeny nezbytně nutné proměnné pro napsání PLC programu. V dolním okně je vytvořený celý PLC program.



Obrázek 4.35: Prostředí PLC programu

4.10 Vytvoření PLC programu

PLC program byl navržen podle vývojového diagramu v Příloze 1. Jako první bylo potřeba, aby se stroj spustil a zreferoval. V obrázku 4.36 je napsaný kód, který vypne pohon řetězu a to z důvodu, kdyby byla buňka nástroje vyklopena. Dále je zajištěna poloha výměníku a výklopné buňky. Jakmile je vše v počáteční poloze, zapne se pohon řetězu a je zastaven, jakmile je referenční buňka na pozici pro výměnu nástroje.

```
//Spusteni stroje, zreferování bunek
IF SPUSTENI_STROJE THEN
    nVAR := 1;
    CEKANI(IN:=FALSE);
END_IF

CASE nVAR OF
    1: //Vypnutí pohonu
        GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := FALSE;
        GVL.bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD := FALSE;
        nVAR := 2;

    2: //Zajištění počáteční polohy výměníku
        IF NOT GVL.bVYMENIK_DORAZ_SEPNUTO THEN
            GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := FALSE;
            GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := TRUE;
        ELSE
            GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := TRUE;
            nVAR := 3;
        END_IF
        CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI, PT:=T#1S);
        IF CEKANI.Q THEN
            CEKANI(IN:=FALSE);
            nVAR := 3;
        END_IF

    3:
        GVL.bVYMENIK_OTOC_CHYCENI := FALSE;
        GVL.bVYMENIK_OTOC_ODEPNUTI := FALSE;
        GVL.bVYMENIK_OTOC_VYMAHA := FALSE;
        GVL.bVYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA := TRUE;
        nVAR := 4;

    4: //zajištění bunky
        IF NOT GVL.bPNEU_VALEC_DORAZ_SEPNUTO THEN
            GVL.bPNEU_VALEC_ZASUNUTI := FALSE;
            GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := TRUE;
        ELSE
            GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := TRUE;
            nVAR := 5;
        END_IF
        CEKANI(IN:= GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI, PT:=T#2S);
        IF CEKANI.Q THEN
            CEKANI(IN:=FALSE);
            nVAR := 5;
        END_IF

    5: // Zreferování bunek
        IF NOT GVL.bREFERENCE THEN
            GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := TRUE;
        ELSE
            nVAR := 6;
        END_IF

    6: // Zastavení řetězu, přiřadit počáteční bunce číslo 1
        GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := FALSE;
        BUNKA := 1;
        SPUSTENI_STROJE := FALSE;
        nVAR := 0;
END_CASE;
```

Obrázek 4.36: PLC program pro spuštění stroje a zreferování výklopné buňky

V Další části programu je počítání buněk (Obrázek 4.37). Směr otáčení řetězu je na obě strany, proto byl vytvořen jednoduchý algoritmus pro přičítání a odčítání buněk. Zároveň bylo potřeba vytvořit algoritmus, který nebude počítat do nekonečna, ale jen podle toho, kolik je buněk v zásobníku. V případě téhle práce jde o 32 nástrojových buněk.

```
//Pocítání Bunek
TRIGGER_BUNEK(cik := GVL.bSNIMANI_BUNEK);

IF TRIGGER_BUNEK.Q AND GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD THEN
    BUNKA := BUNKA + 1;
    IF BUNKA = 33 THEN
        BUNKA := 1;
    END_IF
END_IF

IF TRIGGER_BUNEK.Q AND GVL.bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD THEN
    BUNKA := BUNKA - 1;
    IF BUNKA = 0 THEN
        BUNKA := 32;
    END_IF
END_IF
```

Obrázek 4.37: PLC program pro počítání nástrojových buněk

PLC program pro výměnu nástroje je na Obrázku 4.38. První část je čekání na potvrzení od vřetena. Tahle část kódu slouží k imitaci vřetena a zároveň je tak program nachystán pro další použití, či propojení s dalším strojem. Stačí vytvořenou proměnou pod názvem *VRETENO* nahradit skutečnou proměnou, která bude posílat skutečné hodnoty. Po odsouhlasení vřetena může dojít k výměně nástroje a spustí se další část kódu.

V další části je vyklopena nástrojová buňka a po vyklopení je rameno výměníku vysunuto do polohy, kde u dalšího kroku dojde k pootočení a zároveň k upnutí obou nástrojů do výměníku. Po upnutí nástrojů se rameno výměníku zasune a nástroje jsou tak připravené k vyměnění pozic (viz kapitola 3.7.1). Při zasouvání ramena výměníku jsou stlačovány 2 písty, které jsou zabudované v rameni. Tyto písty mechanicky posouvají s pojistnými válečky na konci ramene. Pojistné válečky slouží k aretaci nástrojů při otáčení ramena o 180°. Otočení ramene výměníku je další fáze výměny nástrojů. V této fázi dojde k prohození pozic nástrojů. Dále je rameno výměníku vysunuto. Při vysouvání ramena jsou písty pomocí pružin vysunuty a tím se pojistné válečky zatáhnou do ramene a již nedrží nástroje. Po vysunutí dojde k upnutí nového nástroje ve vřeteni. Starý nástroj je vsunut do nástrojové buňky. Následně je rameno výměníku odepnuto a vráceno do počáteční polohy. V poslední fázi se nástrojová buňka s vyměněným nástrojem zaklopí do zásobníku a setrvá na další výměnu.

```
// Vymena nástroje
CASE nVARV OF
1: // Potvrzení od vřetena, že může dojít k výměně nástroje
   IF VRETENO THEN
     GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := FALSE;
     GVL.bPNEU_VALEC_ZASUNUTI := TRUE;
     IF GVL.bVYKLOPENI_BUNKY_DORAZ_SEPNUTO THEN
       CEKANI(IN:=FALSE);
       nVARV := 2;
     END_IF
   END_IF

2: // Vysunutí výměníku
   GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI, PT:=T#1.3s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     nVARV := 3;
   END_IF

3: // Chycení nástroje
   GVL.bVYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_CHYCENI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_CHYCENI := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_OTOC_CHYCENI, PT:=T#1.2s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     nVARV := 4;
   END_IF

4: // Zasunutí výměníku
   GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := TRUE;
   IF GVL.bVYMENIK_DORAZ_SEPNUTO THEN
     nVARV := 5;
   END_IF

5: // Otočení výměníku o 180°, aby doslo k výměně nástroje
   GVL.bVYMENIK_OTOC_CHYCENI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_VYMENA := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_OTOC_VYMENA, PT:=T#1.5s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     nVARV := 6;
   END_IF

6: // Zasunutí nástroje do vřetene a do zásobníku
   GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI, PT:=T#1.6s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     VRETENO := FALSE;
     nVARV := 7;
   END_IF

7: // Odepnutí výměníku od nástroje
   GVL.bVYMENIK_OTOC_VYMENA := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_ODEPNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_ODEPNUTI := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_OTOC_ODEPNUTI, PT:=T#1.2s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     nVARV := 8;
   END_IF

8: // Zasunutí výměníku
   GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := TRUE;
   CEKANI(IN:= GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI, PT:=T#1.1s);
   IF CEKANI.Q THEN
     CEKANI(IN:= FALSE);
     nVARV := 9;
   END_IF

9: // Ustavení výměníku do počáteční polohy
   GVL.bVYMENIK_OTOC_ODEPNUTI := FALSE;
   GVL.bVYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA := TRUE;
   IF GVL.bVYMENIK_DORAZ_SEPNUTO THEN
     nVARV := 10;
   END_IF

10: // Zaklopení bunky do zásobníku
   GVL.bPNEU_VALEC_ZASUNUTI := FALSE;
   GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := TRUE;
   nVARV := 0;
CASE

```

Obrázek 4.38: PLC program pro výměnu nástroje

Následující část PLC programu rozhoduje o tom, jaký směr má řetěz zvolit. Jakmile je volán požadovaný nástroj, proběhne algoritmus (Obrázek 4.39), kde je vybrán směr otáčení řetězu tak, aby byla dráha požadované buňky co nejkratší. Až dorazí požadovaná buňka na pozici, kde má dojít k výměně nástrojů, pohon řetězu se zastaví.

```
//Rozhodnutí jaký smer zvolit, aby byla dráha co nejkratsi a zastaveni na pozadovane bunce
IF SPUSTENI_VYMENY THEN
    nVARB :=1;
END_IF

CASE nVARB OF
    1: IF ABS(BUNKA - ZADANIB) <=16 AND (BUNKA-ZADANIB)<1 THEN
        nVARB :=2;
        ELSE
            nVARB :=3;
        END_IF

    2: GVL.bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD := FALSE;
        GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := TRUE;
        IF BUNKA = ZADANIB THEN
            GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := FALSE;
            nVARV := 1;
            nVARB :=0;
        END_IF

    3: GVL.bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD := TRUE;
        GVL.bPOHON_RETEZU_PO_SMERU_HOD := FALSE;
        IF BUNKA = ZADANIB THEN
            GVL.bPOHON_RETEZU_PROTI_SMERU_HOD:= FALSE;
            nVARV := 1;
            nVARB := 0;
        END_IF
END_CASE
```

Obrázek 4.39: PLC program pro volbu směru otáčení řetězu

V poslední části je kód pro manuální ovládání (Obrázek 4.40)

```
// Manualni obsluha

//Vyklopeni bunky ze zasobniku
IF VYKLOPENI_BUNKY THEN
    GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := FALSE;
    GVL.bPNEU_VALEC_ZASUNUTI := TRUE;
END_IF

//Zaklopeni bunky do zasobniku
IF ZAKLOPENI_BUNKY THEN
    GVL.bPNEU_VALEC_ZASUNUTI := FALSE;
    GVL.bPNEU_VALEC_VYSUNUTI := TRUE;
END_IF

// Vysunuti vymeniku
IF VYSUNUTI_VYMENIKU THEN
    GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := FALSE;
    GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := TRUE;
END_IF

// Zasunuti vymeniku
IF ZASUNUTI_VYMENIKU THEN
    GVL.bVYMENIK_VYSUNUTI := FALSE;
    GVL.bVYMENIK_ZASUNUTI := TRUE;
END_IF

// Otaceni po smeru hodinovych rucicek
IF GVL.bVYMENIK_OTOC_PO_SMERU_HOD THEN
    GVL.bVYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA := FALSE;
END_IF

// Otaceni proti smeru hodinovych rucicek
IF GVL.bVYMENIK_OTOC_PROTI_SMERU_HOD THEN
    GVL.bVYMENIK_OTOC_POCAT_POLOHA := FALSE;
END_IF
```

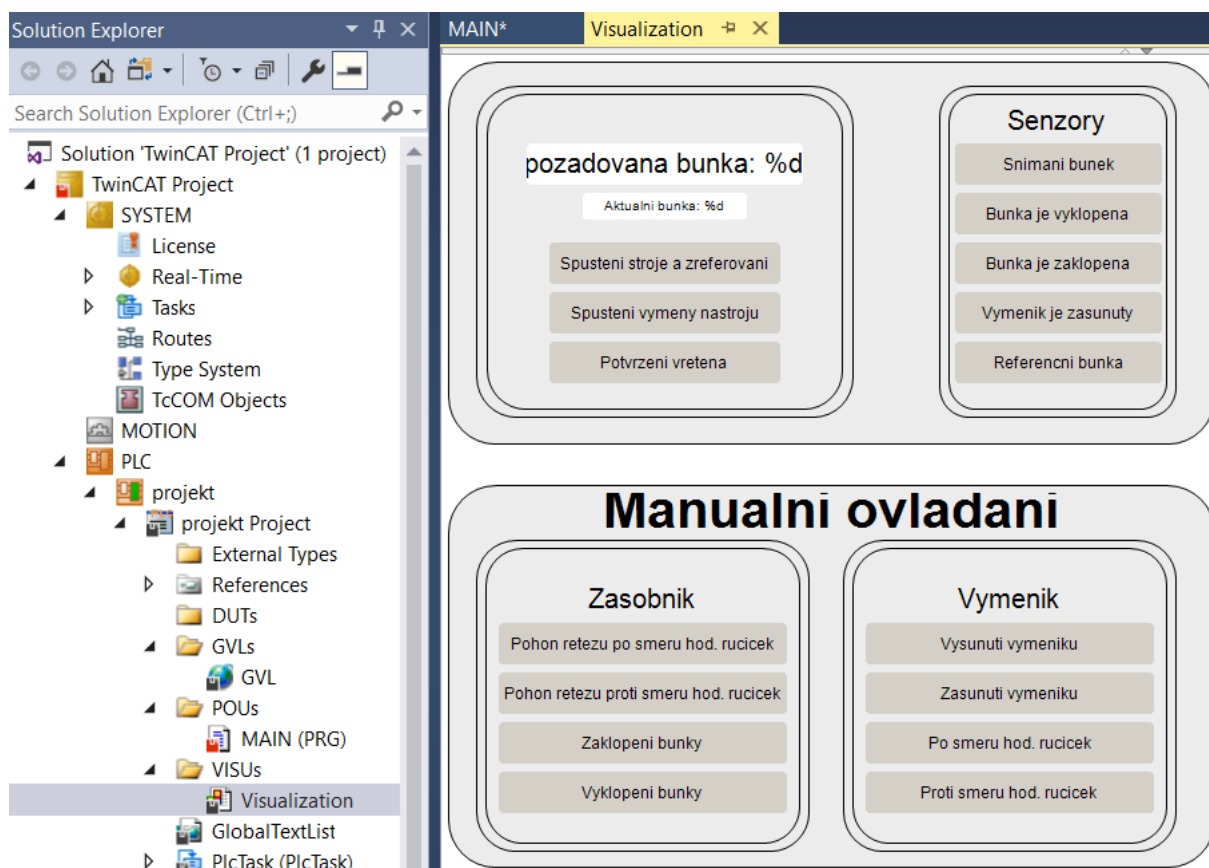
Obrázek 4.40: PLC program pro manuální ovládání

4.11 Vizualizace PLC programu

Vizualizace PLC programu byla vytvořena v programu TwinCAT 3. Název složky, ve které je vizualizace vytvořena je v kartě *Solution Explorer*, kde se nachází složka s názvem *TwinCAT Project-PLC-projekt-projekt Project-VISUs-Visualization*. Kompletní vizualizace je na Obrázku 4.41. Pomocí této vizualizace je ovládán SIMIT SP a následně simulace v NX MCD.

Vizualizace (Obrázek 4.41) je rozdělena na dvě části. V horní části je vše potřebné pro volání jakéhokoliv nástroje a spouštění výměny nástrojů. Dále je v horní části tlačítko nahrazující signál od reálného vřetena v CNC stroji, které musí dát pokyn, že může dojít k výměně nástroje. V případě této diplomové práce tlačítko *Potvrzení vřetena* (Obrázek 4.41) pouze simuluje reálné vřeteno a je tak předpřipravené pro budoucí zakomponování do stroje. Senzory v NX MCD jsou zobrazeny v horní části vizualizace (Obrázek 4.41), kde slouží pro kontrolu, zda simulace odpovídá vizualizaci.

Dolní část vizualizace (Obrázek 4.41) slouží pro manuální ovládání. Obsluha tak může z jednotlivými akčními členy libovolně manipulovat.



Obrázek 4.41: Prostředí vizualizace

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Cíle, které byly v této práci zadány, byly splněny. Jednalo se o teoretickou část popisující virtuální zprovoznění a praktickou část. V té byl zprovozněn 3D model, komunikační rozhraní mezi programy a byl vytvořen PLC program, který simulaci ovládá. Práce tedy splňuje požadované cíle, nicméně je stále prostor pro zlepšení jak celého virtuálního zprovoznění, tak i v používaných programech.

Zlepšení by mohlo dojít u PLC programu, a to například v testování rychlosti výměny nástroje, nebo připojit skutečný PLC a odzkoušet, zda vytvořený PLC program je použitelný pro reálný PLC, či nikoliv. Dále by se mohly vložit nástroje do zásobníku, přidat CNC stroj a simulovat různé stavy, ke kterým by mohlo dojít ve výrobním procesu.

Zlepšení by také mohlo dojít z pohledu pozitivních programů, a to především v programu NX MCD. Při vkládání kinematiky v NX MCD bylo nejtěžším úkolem zprovoznit řetěz zásobníku a nástrojové buňky s řetězem spojené. Nebylo možné řetěz zprovoznit tak, aby se choval stejně jako je tomu ve skutečnosti. Řetěz se ve skutečnosti pohybuje za pomoci hnacího kola a jeho trajektorie je vymezena hnanými koly, kde jedno kolo je pohyblivé kvůli napínání řetězu. Chování nástrojových buněk ve skutečnosti je takový, že při otáčení řetězu není vyklápění ani zaklápění buněk ničím poháněno. Aby nedocházelo k samovolnému vyklápění a zaklápění buněk, jsou kolem zásobníku udělané lišty, které buňky drží v zaklopeném stavu. Tento způsob v NX MCD nešel udělat, při různých pokusech nebyl program schopný, aby jednotlivé články řetězu o sebe třely, a tak udělaly reálné chování. Pohyb řetězu byl vyřešen tak, že byla přidána do modelu křivka, po které se bude řetěz pohybovat. Musely se tak zavazbit jednotlivé články řetězu ke křivce. K tomu, aby poháněné kolo aspoň působilo, že se točí, bylo jednotlivým článkům řetězu i hnanému kolu přidána kolizní vlastnost, ta zapříčiňuje interakci řetězu s hnacím kolem. Ani nástrojové buňky nešly udělat, aby byly drženy v zaklopeném stavu. Při pokusech, kdy se měly buňky pohybovat po lištách, byly simulace nestabilní. Proto byl jednotlivým buňkám přidán akční člen, který drží buňky v zaklopeném stavu. Dále bylo v akčním členu nastaveno silové omezení kvůli vyklápění buňky, z důvodu imitace skutečného chování. Skutečný princip chování nástrojové buňky při příjezdu na pozici, kde má dojít k výměně nástrojů. Po příjezdu je zadní část buňky držena profilem, který je ovládán pneumatickým válcem, a nikoliv vodičnými lištami. Tímto způsobem při pohybu pneumatického válce dochází k vyklápění a zaklápění nástrojové buňky dle potřeb. Díky tomu, že se přidal akční člen do jednotlivých buněk, lze provádět výměnu podle skutečnosti. Pokaždě by se chtěly měřit různé silové namáhání, jak v řetězu nebo v pneumatickém válci, tak naměřené hodnoty by neodpovídaly skutečnosti.

Další změnou, respektive vynechání jednoho mechanismu ve výměníku, bylo držení nástrojů při výměně. Podle skutečnosti výměník umožňuje výsuv, otáčení a zajištění nástroje. Při otáčení nebylo možné zajistit nástroj výsuvnými válci. Program NX MCD nemá žádnou funkci, která by to podporovala. Z těchto důvodů se v 3D modelu nevyskytuje, ale simulaci to nijak zvlášť neovlivňuje.

Co se týče latence, která vzniká při komunikaci, tak poměrně zásadním způsobem ovlivňuje celou simulaci. Doba, která uběhne při výměně informací mezi programy je sice v mikrosekundách, ale i tak to simulaci ovlivňuje. Příkladem je zastavení nástrojové buňky, která funguje tak, že senzor v 3D modelu počítá jednotlivé buňky. Ve chvíli, kdy je napočítána

volaná buňka, pošle PLC program signál o tom, že má dojít k zastavení pohonu. Tím pádem, když je latence náhodná, je velký problém PLC program naladit, aby buňky zastavovaly pokaždé na stejném místě.

Dalo by se virtuální zprovoznění v této práci shrnout tím, že bylo provedeno s jistými nepřesnostmi, a to zejména kvůli absenci některých funkcí v programu NX MCD. Virtuální zprovoznění a digitální dvojče je jistým způsobem v současnosti možné uskutečnit, ale je potřeba dále vyvíjet programy, které jsou při tom používány. Dále by bylo příhodné, kdyby CAD programy dokázaly lépe komunikovat s PLC programy a nemusely by k navázání komunikace být použity další programy. Virtuální zprovoznění by bylo více uživatelsky přívětivé a latence během komunikace by mohla být zmenšena. Tímto směrem se v současnosti zaobírá spousta firem, například firma Beckhoff má ve druhém čtvrtletí 2020 uvolnit na trh rozhraní TC3 CAD. Což umožňuje propojení mezi 3D CAD programem Autodesk Inventor a programem TwinCAT. Cílem tohoto spojení je virtuální spojení na bázi SIL.

6 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo digitální zprovoznění výměníku nástrojů CNC stroje. Poskytnutý 3D model, který byl získán z ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT, měl být virtuálně zprovozněn. Zprovoznění mělo být NX MCD, SIMIT SP a řídicím systémem, který byl zvolen TwinCAT 3. Tento řídicí systém byl zvolen kvůli možnosti vytvoření PLC programu, kde není jenom možnost odzkoušení funkčnosti 3D modelu, ale i vytvoření celého řízení stroje s možnou vizualizací, která může 3D model ovládat.

V první části této práce byl popsán současný stav poznání se systémovým rozbořem virtuálního zprovoznění. Byl popsán Průmysl 4.0 a byly objasněny některé pojmy spojující se s ním, kde základní myšlenka je rozvíjení a používání kyberneticko-fyzikálních systémů (CPS) v průmyslových podnicích. Dále bylo popsáno digitální dvojče i digitální stín a rozdíl mezi nimi. V návaznosti na digitální dvojče bylo popsáno virtuální zprovoznění, nástroje a komunikační rozhraní. V poslední části této kapitoly byla vyličená automatická výměna nástrojů, druhy nástrojových stopek a druhy zásobníků, kde jsou nástroje uskladněny.

Kapitola digitální zprovoznění popisuje celou praktickou část této práce, kde je shrnuté jaký stroj bude digitalizován a jaké bylo zvoleno rozvržení práce. Pro simulaci 3D modelu je použit NX MCD. Pro propojení a ovládání s 3D modelem je použit program SIMT SP a pro vytvoření PLC programu a následnému ovládání 3D modelu, byl použit TwinCAT 3.

V prvé řadě bylo nutné 3D model upravit do takové podoby, aby následná simulace byla co nejvíce plynulá a aby program stíhal veškeré výpočty, takže díly neovlivňující simulaci byly potlačeny. Poté mohlo dojít k zavazbení 3D modelu. Dále byl vložen materiál dílům, které budou rozhybány. K tomu, aby byly díly přiblíženy skutečnému chování, bylo jim potřeba nadefinovat moment setrvačnosti, hmotnost a těžiště. Z těchto dílů byly vytvořeny tělesa, kterým se následně přidaly kinematické vazby a kolizní tělesa. Aby mohl být 3D model při simulaci rozpohybován, byly vytvořeny senzory a akční členy. Potom se vytvořily řídicí signály pro ovládání z jiného programu.

Jakmile byl 3D model rozpohybován, bylo v následující části této práce řešeno propojení s dalšími programy, který mohou simulaci ovládat. V prvé řadě šlo o spojení NX MCD se SIMIT SP za pomoci komunikačního rozhraní Shared memory. Jakmile spolu programy komunikovaly, došlo k propojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3, které mezi sebou komunikují prostřednictvím OPC UA. Do programu TwinCAT 3 bylo potřeba nainstalovat již zmíněné komunikační rozhraní OPC UA. Po nainstalování balíčku do TwinCAT 3 došlo k propojení mezi SIMIT SP a TwinCAT 3. V tuhle chvíli je jedna komunikace mezi NX MCD a SIMIT SP a druhá je mezi SIMIT SP a TwinCAT 3. Pro komunikaci mezi NX MCD a TwinCAT 3 je použit SIMIT SP jako spojovatel. Takže v SIMIT SP byly provázány proměnné z NX MCD a TwinCAT 3.

V poslední části této práce byl vytvořen PLC program v programu TwinCAT 3. PLC program, který byl vytvořen umožňuje ve 3D modelu simulovat automatickou výměnu nástrojů a manuální ovládání stroje. Pro ovládání simulace byla vytvořena vizualizace.

V práci byly splněny požadované body zadání, ale je zde pořád velký prostor pro zlepšení. Díky propojení s externím PLC by šlo odzkoušet spousty variant a testovat chování 3D modelu. Dále by se mohl 3D model propojit s reálným PLC a odzkoušet, zda vytvořený PLC program je použitelný pro skutečné PLC.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SOLDATOS, John, Oscar LAZARO a Franco CAVADINI. *The Digital Shopfloor: Industrial Automation in the Industry 4.0 Era* [online]. s. 1-496 [cit. 2020-06-24]. DOI: 10.13052/rp-9788770220408. Dostupné z: https://riverpublishers.com/dissertations_xml/9788770220408/9788770220408.xml
- [2] CEJNAROVÁ, Andrea. Průmysl 4.0. *VISIONS* [online]. Siemens, s. r. o. Siemensova 1, 155 00 Praha 13, 2013, **5**, 1-60 [cit. 2020-06-25]. ISSN 1804-364X. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/upload/visions-jaro-2013-727.pdf>
- [3] *Průmyslová revoluce* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://www.alj.com/app/uploads/2018/11/Industry-4.0-infographic.jpg>
- [4] ODBOR, 31300. *Iniciativa Průmysl 4.0* [online]. 2016, , 1-228 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [5] MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [6] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, s.r.o, 2018, 427 stran : barevné ilustrace, fotografie. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [7] CEJNAROVÁ, Andrea. Digitalizace jako řešení pro průmysl. *VISIONS* [online]. Siemens, s. r. o. Siemensova 1, 155 00 Praha 13, **6**, 1-52 [cit. 2020-06-24]. ISSN 1804-364X. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/upload/visions-zima-2016-jednostranky-779.pdf>
- [8] *Edge computing* [online]. 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://ictrevue.ihned.cz/c3-66145460-0ICT00_d-66145460-pocitace-na-houpacce-a-taky-na-hrane
- [9] Digitální transformace. CEJNAROVÁ, Andrea. *VISIONS* [online]. Siemens, s. r. o. Siemensova 1, 155 00 Praha 13, **5**, 1-48 [cit. 2020-06-24]. ISSN 1804-364X. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/upload/visions-podzim-2014-721.pdf>
- [10] *Digitalizace* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/digitalizace-cesta-ke-ctvrte-prumyslove-revoluci.htm>
- [11] *Digitální podnik* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/prumysl40/>
- [12] *Digitální dvojče* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.industryforum.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumyslu>

- [13] *Model výrobního procesu digitálního dvojčete* [online]. 2017 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3833_Industry4-0_digital-twin-technology/figures/3833_Figure1.png
- [14] *CNC stroje* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://staging-diy.haascnc.com>
- [15] KRITZINGER, Werner, Matthias KARNER, Georg TRAAR, Jan HENJES a Wilfried SIHN. *Digital Twin in manufacturing*. 11. IFAC-PapersOnLine, 2018, 1016-1022 s. ISSN 2405-8963. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- [16] *Virtuální zprovoznění* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://automa.cz/page-flip/casopis/automa/2016/05/index.html#page/12>
- [17] *Úspora času při virtuálním zprovoznění* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.jcommerce.eu/jpro/articles/virtual-commissioning-software-testing>
- [18] MAKRIS, S., G. MICHALOS a G. CHRYSSOLOURIS. Virtual Commissioning of an Assembly Cell with Cooperating Robots. *Advances in Decision Sciences*. 2012, **2012**, 1-11. DOI: 10.1155/2012/428060. ISSN 2090-3359. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/archive/2012/428060/>
- [19] *ABB RobotStudio* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [20] *ABB ovládání SCARA robotů* [online]. 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/news/cs/detail/62065/abb-rozsirilo-svuj-software-robotstudior-o-moznost-ovladat-roboty-scara-z-pocitace>
- [21] *BECKHOFF* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cz/>
- [22] *TC3 CAD simulační rozhraní* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/english.asp?twincat/te1130.htm>
- [23] *TwinCAT 3* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.cz/cz/default.htm?beckhoff/products.htm>
- [24] *EKS InTec GmbH* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.eks-intec.de/index.html>
- [25] *Siemens produkty* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25321-produkty>
- [26] STEVENS, W. Richard. *UNIX network programming*. 2nd ed. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 1999. ISBN 01-308-1081-9.
- [27] *OPC* [online]. 2013 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.foxon.cz/blog/prakticka-teorie/159-co-je-opc-opc-server-opc-klient>

- [28] *OPC UA a OPC DA* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/Subsystems/Comm/OPC/OPC.htm>
- [29] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [30] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991, 214 s. : il. tabulky, grafy. ISBN 80-214-0361-6.
- [31] CHEN, Xuefeng, Gaigai CAI, Hongrui CAO a Wei XIN. *Condition assessment for automatic tool changer based on sparsity-enabled signal decomposition method* [online]. Mechatronics. Elsevier, 2015 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.12.006>
- [32] *Rozhraní držák - obráběcí stroj (4)* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/rozhrani-drzak-obrabeci-stroj-4>
- [33] *Nástrojové Stopky* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.i-frezy.cz/>
- [34] Machine Integration. *Coromant Capto* [online]. 2010, , 1-12 [cit. 2020-06-25].
- [35] *HAIMER PSC 63* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.haimer.biz/products/tool-holders/iso-26623-haimer-psc-63.html>
- [36] DEMEČ, Peter. *SYSTÉMY AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV NA ČÍSLICOVO RIADENÝCH STROJOCH* [online]. , 1-34 [cit. 2020-06-25].

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk:

3D	Trojjrozměrný
CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
CPS	Cyber-Physical Systems
ERP	Enterprise Resource Planning
GVL	Global variable list
HIL	Hardware in the loop
IIOT	Industrial Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
MCD	Mechatronics Concept Designer
OPC	Ole for Process Control
OPC DA	Open Platform Communications Data Acces
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PC	Počítač
PLC	Programmable Logic Controller
NX MCD	Mechatronic concept designer
POU	program organization unit
SIL	Software in the loop
SIMIT SP	SIMIT Simulation Platform
VUT	Vysoké učení technické v Brně

8.2 Seznam obrázků:

Obrázek 3.1: Průmyslová revoluce [3]	19
Obrázek 3.2: Propojení digitálního dvojčete s fyzickým zařízením [13] [14]	21
Obrázek 3.3: Datový tok mezi a) digitálním dvojčetem a reálným objektem, b) digitálním stínem a reálným objektem [15]	21
Obrázek 3.4: Úspora času při virtuálním zprovoznění [17]	22
Obrázek 3.5: Propojení NX MCD, SIMIT SP a TwinCAT 3	25
Obrázek 3.6: Morfologie automatické výměny nástrojů [29]	26
Obrázek 3.7: Princip automatické výměny nástroje [31]	27
Obrázek 3.8: Nástrojové stopky [33] [34] [35]	28
Obrázek 3.9: Typy revolverových hlav [29]	29

Obrázek 3.10: Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů [36].....	29
Obrázek 3.11: Systémy s výměnou celých vřeten [36]	29
Obrázek 3.12: Rozdělní skladovacích zásobníku podle manipulace [36]	30
Obrázek 4.1: 3D Model výměníku nástrojů	31
Obrázek 4.2: Zásobník nástrojů.....	32
Obrázek 4.3: Výměník nástroje	32
Obrázek 4.4: Potlačení dílu	33
Obrázek 4.5: Zavazbení pneumatického motoru.....	33
Obrázek 4.6: Přiřazení materiálu	34
Obrázek 4.7: Přiřazení momentu setrvačnosti, hmotnost a těžiště	35
Obrázek 4.8: Vložení kinematické vazby a) <i>Hinge Joint</i> , b) <i>Sliding Joint</i>	35
Obrázek 4.9: Vložení trajektorie řetězu.....	36
Obrázek 4.10: Vložení funkce <i>Spring Damper</i>	36
Obrázek 4.11: Vložení funkce <i>Collision Damper</i>	37
Obrázek 4.12: Vložení dorazu a) pneumatického válec, b) vyklopení buňky.....	37
Obrázek 4.13: Použití akčního členu na výměníku	38
Obrázek 4.14: Použití akčního členu na výklopné buňce.....	38
Obrázek 4.15: Použití akčního členu na řetězu	39
Obrázek 4.16: Vytvoření referenčního signálu	39
Obrázek 4.17: Vytvoření signálu pro vysunutí pneumatického válce.....	40
Obrázek 4.18: Export signálů z NX MCD do SIMT SP	40
Obrázek 4.19: a) Vytvoření Shared Memory, b) Import signálu z NX MCD do SIMT SP.....	41
Obrázek 4.20: Import signálu z NX MCD do SIMT SP	41
Obrázek 4.21: Mapování signálů mezi NX MCD a SIMT SP	42
Obrázek 4.22: Vytvořené signály mezi NX MCD a SIMT SP	42
Obrázek 4.23: Přidání Licencí	43
Obrázek 4.24: Zaškrtnutí <i>TMC File</i>	43
Obrázek 4.25: Zaškrtnutí <i>TMC File</i>	43
Obrázek 4.26: Nastavení a) <i>General</i> , b) <i>UA Endpoints</i>	44
Obrázek 4.27: Spojení OPC UA Sample Client s TwinCAT 3 projektem.....	44
Obrázek 4.28: Nastavení lokálního <i>Endpoint Url</i>	44
Obrázek 4.29: Vytvoření OPC UA Client	45
Obrázek 4.30: Nastavení OPC UA Client	45
Obrázek 4.31: Globálně proměnné a) vstupní, b) výstupní	45
Obrázek 4.32: Změna proměnný v a) TwinCAT 3, b) SIMT SP	46
Obrázek 4.33: Propojení NX MCD s TwinCAT 3 v SIMT SP	46
Obrázek 4.34: Ověření správné komunikace mezi NX MCD SIMT SP a TwinCAT 3	47
Obrázek 4.35: Prostředí PLC programu	47
Obrázek 4.36: PLC program pro spuštění stroje a zreferování výklopné buňky	48
Obrázek 4.37: PLC program pro počítání nástrojových buněk	48
Obrázek 4.38: PLC program pro výměnu nástroje.....	49
Obrázek 4.39: PLC program pro volbu směru otáčení řetězu	50
Obrázek 4.40: PLC program pro manuální ovládání.....	50
Obrázek 4.41: Prostředí vizualizace	51

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vývojový diagram PLC programu

Příloha 2: 3D model v programu NX MCD

Příloha 3: Signály mezi NX MCD a SIMIT SP

Příloha 4: Vytvořený projekt v SIMIT SP

Příloha 5: PLC program vytvořený v TwinCAT 3

Příloha 6: Video ze simulace

PŘÍLOHY

Příloha 1: Vývojový diagram PLC programu

